

Otimização energética de sistemas de arejamento nas estações de tratamento de águas residuais

MARIA FLÁVIA FERREIRA BARROS

novembro de 2016

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE AREJAMENTO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

MARIA FLÁVIA FERREIRA BARROS

Projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – INFRAESTRUTURAS

Orientador: Eduardo Bruno De Freitas Vivas

NOVEMBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xxi
Abreviaturas	xxvii
1 Introdução.....	1
2 Funcionamento de uma ETAR.....	5
3 <i>Software</i> utilizado e caso de estudo	59
4 Resultados e discussão.....	93
5 Considerações Finais	133
Referências Bibliográficas	137
ANEXO I – Tabelas - condições iniciais dos diversos cenários.....	139
ANEXO II – Tabelas de consulta para cálculo de fluxo de ar	163
ANEXO III – Folhas de cálculo para cada cenário do fluxo de ar requerido	165
ANEXO IV – Folhas de cálculo para dimensionamento do sistema de arejamento e potências	167

RESUMO

A água é um bem escasso e que deve ser protegido. Esta preocupação tem vindo a refletir-se numa legislação cada vez mais exigente e, por conseguinte, obriga a que os processos de tratamento sejam, também eles, mais complexos e onerosos, sendo um dos principais custos, correspondentes ao consumo de energia. Uma estação de tratamento de águas residuais permite repor as principais características de qualidade de águas que antes são impróprias para consumo. Essa despoluição é assegurada com recursos a tratamentos físicos, químicos e biológicos, antes da devolução ao meio recetor.

Tomando por base o exemplo das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de lamas ativadas, processo de tratamento biológico mais comum, o arejamento necessário à manutenção das condições aeróbias para ação das bactérias é o que consome mais energia numa ETAR (precisamente o gasto em que este relatório se foca), correspondendo, habitualmente, a mais de 50% do consumo de energia. Nesse sentido, qualquer potencial de otimização deste processo, poderá representar uma redução significativa dos custos de exploração de uma ETAR.

Para avaliação do potencial de otimização existente, foi considerado que os principais objetivos são: (i) caracterizar a situação atual em termos de necessidades de arejamento e consumos de energia reais verificados, (ii) avaliar o potencial de otimização dos sistemas de arejamento atendendo aos níveis de eficiência dos equipamentos (no caso, sobrepessores), ao nível das transferências de oxigénio no tanque e controlo do sistema e (iii) ainda ao nível do melhor ajuste às reais necessidades de arejamento.

Para se proceder à análise foi utilizado um *software* de simulação do processo biológico (Activated Sludge SIMulation Program – ASIM, da EAWAG) que permite obter, para um caso teórico de uma ETAR, as reais necessidades de oxigénio em diferentes cenários. Os cenários simulados, os quais se vão comparar com o cenário de referência (projeto) foram: variação dos caudais e cargas poluentes das águas residuais que a ETAR serve, variação da temperatura ao longo do tempo (dia e ano), controlo do sistema de arejamento em função dos níveis de Oxigénio Dissolvido (OD) no tanque de arejamento e criação de condições para a desnitrificação. Da análise destes diferentes cenários foi possível verificar a existência de um potencial de otimização de, pelo menos, 20 % quando se introduzem mecanismos de ajuste.

Palavras-chave: ETAR, Água Residual, Arejamento, Eficiência energética, Custos de energia

ABSTRACT

Water is a scarce resource and must be protected. This concern has been reflected in an increasingly demanding legislation and therefore obliges that the treatment's processes should be more complex and costly being one of the major costs related to energy consumption. A Waste Water Treatment Plant allows improve quality of water that before was inappropriate for human consumption. This water treatment is assured with the physical, chemical and biological processes before discharge to the receiving waters.

Based on the example of Waste Water Treatment Plant (WWTP) activated sludge, the most common biological treatment process, the necessary aeration for the maintenance of aerobic conditions for bacterial action is one of the main causes of energy consumption in WWTP (the cost that this report is focused) corresponding usually to more than 50% of the energy consumption. In this respect, any potential optimization of this process may represent a significant reduction in operating costs of WWTP.

To evaluate the potential optimization that could exist it was considered that the main objectives are (i) characterize the current situation in terms of the aeration needs and real energy consumption's recorded, (ii) evaluate the potential optimization of the aeration systems attending to the levels of equipment efficiency's (in this particular case: blowers) the levels of the oxygen transference in the reactor and the system control and (iii) attending to the best adjustment to real aeration demands.

To proceed the analysis a software was used for simulation of the biological process (Activated Sludge SIMulation Program – ASIM, of EAWAG) which allows to obtain the real oxygen requirement in different scenarios for a theoretical case of WWTP. The simulated scenarios, which will be compared with the reference scenario (project), were: variation of the volumes and load pollutants of waste water that the WWTP serves, temperature variation over time (day and year), aeration control system according to the levels of dissolved oxygen (DO) in the aeration reactor and the creation of conditions that enable denitrification. From the analysis of the different scenarios was possible to verify the existence of a potential optimization of at least 20 % when the adjustment mechanisms are implemented.

Keywords: WWTP, wastewater, Aeration, energy efficiency, Energy costs

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto reuniu-se de muitos momentos solitários de investigação, reflexão e escrita que um projeto necessita. No entanto, também se reuniu de momentos de contribuição de inúmeras pessoas.

Esses momentos foram de enorme apoio e incentivo aos quais estou eternamente grata e sem os quais a conclusão deste projeto não seria uma realidade. Nos seguintes parágrafos expresso o meu reconhecimento pela presença das pessoas que contribuíram para esses momentos.

Ao professor e engenheiro Eduardo Freitas Vivas, a minha profunda gratidão e admiração pela orientação, palavras de incentivo e disponibilidade. Sem as suas opiniões, transmissão de saber e profundo empenho em me ajudar com problemas surgidos ao longo deste percurso não seria possível a realização deste trabalho.

Agradeço também a todos os engenheiros (professores) encontrados ao longo do curso.

Agradeço especialmente à minha mãe que sempre me apoiou sendo o meu pilar! É ainda o meu modelo de coragem e empenho que me faz nunca pensar em desistir. Agradeço-lhe o tempo, dedicação, amor e atenção sem reservas que me transmite sempre e ainda por todos os conselhos me fazem procurar evoluir. Dedico-lhe com todo o meu carinho a minha tese.

Agradeço ao meu pai. Ao meu irmão por tudo o que faz por mim! Agradeço aos meus tios: Jacinto, Joaquina, Avelino e Olga e aos meus primos, especialmente, à Márcia Salomé por todas as suas palavras quando preciso.

Agradeço aos meus amigos que conheci no início da faculdade e que se tornaram a minha família desta segunda casa. Ana Lourenço, Juliana Pinheiro e Luís Leal, agradeço o companheirismo todos os dias mostrado mesmo ao longe. Foram a minha distração ao longo deste percurso e levo comigo momentos que não vou esquecer na sua companhia.

Agradeço a quem estava comigo no início, que acreditou em mim e me deu força. Aos que estiveram comigo ao longo do percurso e no final!

ÍNDICE DE TEXTO

Índice Geral	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xxi
Abreviaturas	xxvii
1 Introdução.....	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura do projeto	2
2 Funcionamento de uma ETAR.....	5
2.1 Generalidades	5
2.2 Águas residuais - caracterização	10
2.3 Tratamento secundário	17
2.4 Microrganismos	22
2.5 Processos biológicos de remoção de azoto	24
2.5.1 Nitrificação.....	25
2.5.2 Desnitrificação	27
2.6 Parâmetros de controlo	28
2.7 Transferência de oxigénio.....	30

2.7.1	Oxigénio atual requerido (OTR)	34
2.7.2	Correção da taxa de transferência de oxigénio em sistemas de difusores (SOTR)	34
2.7.3	Eficiência de arejamento <i>standard</i> (SAE)	35
2.7.4	Eficiência de transferência de oxigénio <i>standard</i> (SOTE)	35
2.8	Aplicação de sistemas de arejamento numa ETAR	36
2.8.1	Tipos de sistemas de arejamento	37
2.8.2	Comparação entre arejamento difuso e arejamento mecânico	44
2.9	Eficiência energética e custos numa ETAR.....	45
2.10	Condições base para dimensionamento e avaliação de funcionamento de sistemas de arejamento em ETAR	48
2.11	Otimização do sistema de arejamento.....	50
3	<i>Software</i> utilizado e caso de estudo	59
3.1	<i>Software</i> ASIM.....	60
3.2	Apresentação do caso de estudo	66
3.2.1	Modelo estequiométrico e parâmetros cinéticos	69
3.2.2	Caudal afluente.....	72
3.2.3	Concentrações poluentes na água residual.....	74
3.2.4	Apresentação dos resultados: Cenário 1	75
3.3	Fluxo de ar a fornecer ao sistema	83
3.4	Dimensionamento do sistema de arejamento	86
3.4.1	Sistema de arejamento escolhido	86
3.4.2	Número e disposição dos difusores.....	87
3.4.3	Consumo de energia - sobressensores	89
3.5	Quantificação dos consumos de energia	91
4	Resultados e discussão.....	93
4.1	Comparação com outros cenários de estudo	93
4.1.1	Cenário 2.....	94

4.1.2	Cenário 3.....	101
4.1.3	Cenário 4.....	106
4.1.4	Cenário 5.....	110
4.1.5	Cenário 6.....	115
4.1.6	Cenário 7.....	120
4.2	Quantificação do Fluxo de ar a fornecer ao sistema (arejamento)	128
4.3	Quantificação dos consumos de energia - sobrepressores	129
5	Considerações Finais	133
5.1	Conclusões	133
5.2	Desenvolvimentos Futuros	135
	Referências Bibliográficas	137
	ANEXO I – Tabelas - condições iniciais dos diversos cenários.....	139
	ANEXO II – Tabelas de consulta para cálculo de fluxo de ar	163
	ANEXO III – Folhas de cálculo para cada cenário do fluxo de ar requerido	165
	ANEXO IV – Folhas de cálculo para dimensionamento do sistema de arejamento e potências	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Vista aérea de uma ETAR (Newton.pt)	5
Figura 2.2 – Esquema de funcionamento de uma ETAR (Grupo Volund, 2016)	7
Figura 2.3 – Resumo de atividades em cada tratamento numa ETAR (Vivas, 2014)	9
Figura 2.4 – Frações constituintes da matéria orgânica (Metcalf & Eddy, 2003)	11
Figura 2.5 – Variação típica do caudal e da concentração de CBO na água residual doméstica ao longo dia (Metcalf & Eddy, 2003)	12
Figura 2.6 – Taxa de consumo do oxigénio para carências de oxigénio (EPA, 1989)	13
Figura 2.7 – Caracterização das frações que compõem a TOC (Metcalf & Eddy, 2003)	14
Figura 2.8 – Constituintes fracionados do azoto (TKN – azoto total) na água residual (Metcalf & Eddy, 2003)	15
Figura 2.9 – Processo de lamas ativadas (Chen et al., 2002)	21
Figura 2.10 – Predominância de microrganismos versus taxa de F/M e TRS (Metcalf & Eddy, 2003)	23
Figura 2.11 – Resumo dos processos biológicos (Metcalf & Eddy, 2003)	25
Figura 2.12 – Processo biológico de nitrificação (Metcalf & Eddy, 2003)	26
Figura 2.13 – Típica variação de K_La em função da taxa de fluxo de ar introduzida (Larsson, 2011)	31
Figura 2.14 – Curva típica da SOTE para difusores (Sulzer, 2012)	36
Figura 2.15 – Difusores de ar porosos típicos. (a) disco de alumínio oxidado. (b) Cúpula cerâmico. (c) disco polietileno. (d) membrana perfurada (bfdias.com & Metcalf & Eddy, 2003)	39
Figura 2.16 – Painel de difusores de bolha fina (a) esquema de painel de membrana de difusores bolha fina, (b) painel membrana de difusores de bolha fina instalados no tanque de arejamento de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2003)	39
Figura 2.17 – Tipo de difusores não porosos. (a.1) esquema de orifício fixo (a.2) orifício fixo (b.1) esquema de tubo (b.2) tubo (Aquatec-Ecosystems, 2016 & Difusor, 2016 & Metcalf & Eddy, 2003)	40

Figura 2.18 – Outros tipos de difusores (a) tubo estático (b) e (c) jet reator (d) arejador aspirador (Metcalf & Eddy, 2003)	40
Figura 2.19 – Exemplo de sobrepresores: (a.1) esquema de sobrepresor centrífugo (a.2) centrífugo (b.1) esquema de <i>equipamento de deslocamento positivo de lóbulos rotativos</i> (b.2) <i>equipamento de deslocamento positivo de lóbulos rotativos</i> (Frigostrella, 2016 & Metcalf & Eddy, 2003)	43
Figura 2.20 – Operação dos <i>equipamentos de deslocamento positivo de lóbulos rotativos</i> (Water Environment Federation, 2009)	43
Figura 2.21 – Arejamento provocado por pás verticais (sistema mecânico) (Tandoi et al. 2006)	44
Figura 2.22 – Arejamento provocado por bolhas de ar finas (sistema difuso) (Tandoi et al., 2006)	44
Figura 2.23 - Distribuição típica da energia gasta numa ETAR (Metcalf & Eddy, 2003)	45
Figura 2.24 – Comparação de energia elétrica gasta (típica) para diferentes tipos de procedimentos de tratamento em função do fluxo (Metcalf & Eddy, 2003)	46
Figura 2.25 – Típica variação do fluxo de água residual ao longo do dia (Metcalf & Eddy, 2003)	50
Figura 2.26 – Estrutura processo de lamas ativadas e componentes de controlo de OD (Metcalf & Eddy, 2003)	53
Figura 2.27 – Localização de sondas OD – 1º Esquema (Water Environment Federation, 2009)	54
Figura 2.28 – Localização de sondas OD - 2º Esquema (Water Environment Federation, 2009)	55
Figura 2.29 – Comparação dos níveis de OD para Controlo automático do sistema de arejamento versus Operação manual (Water Environment Federation, 2009)	56
Figura 3.1 – Modelo <i>Activated Sludge Model</i> No.3 (imagem retirada do software)	60
Figura 3.2 – Definição das características do processo de lamas ativadas (exemplo)	61
Figura 3.3 – Definição dos reatores biológicos (exemplo)	61
Figura 3.4 – Definição das concentrações do afluente (exemplo)	62
Figura 3.5 – Definição do ciclo (exemplo)	62
Figura 3.6 – Definição da variação (exemplo)	63
Figura 3.7 – Tempos de computação para o método de Relaxação (exemplo)	63
Figura 3.8 – Estado da planta (exemplo)	64
Figura 3.9 – Exemplo de um gráfico resultado da simulação dinâmica (Variação CQO)	64
Figura 3.10 – Mecanismos de controlo (exemplo)	65

Figura 3.11 – Controlo por equação (exemplo)	66
Figura 3.12 – Controlo <i>On/Off</i> (exemplo)	66
Figura 3.13 – Planta da fase de tratamento secundário da ETAR em estudo (imagem retirada do software ASIM)	68
Figura 3.14 – Matriz estequiometria de espécies dissolvidas	69
Figura 3.15 – Matriz estequiométrica de espécies particuladas	70
Figura 3.16 – Caudal afluyente de água residual na ETAR em estudo (Período: 24 horas)	73
Figura 3.17 – Concentrações de entrada ao longo do dia dos variados parâmetros em estudo (componente dissolvida)	75
Figura 3.18 – Concentrações de entrada ao longo do dia dos variados parâmetros em estudo (componente particulada)	75
Figura 3.19 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 1 - Inverno)	77
Figura 3.20 – Variação dos consumos de O_2 ao longo dos 3 reatores (Cenário 1 - Inverno)	78
Figura 3.21 – Variação do azoto amoniacal nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	79
Figura 3.22 – Variação dos nitratos nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	79
Figura 3.23 – Variação dos SST nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	80
Figura 3.24 – Variação da alcalinidade presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	80
Figura 3.25 – Variação da CQO na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	81
Figura 3.26 – Variação do crescimento de biomassa heterotrófica (cima) e dos microrganismos nitrificantes (baixo) na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	81
Figura 3.27 – Variação da respiração endógena feita pelos microrganismos nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	82
Figura 3.28 – Variação dos consumos de O_2 nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)	82
Figura 3.29 – Difusor <i>ABS Nopon Pik 300</i>	86

Figura 3.30 – Eficiência de arejamento do difusor (Sulzer, 2012)	87
Figura 3.31 – Esquema representativo da malha geométrica.....	88
Figura 4.1 – Variação da temperatura de operação na ETAR ao longo de um dia (cenário 2 - Inverno) ...	95
Figura 4.2 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 2 - Inverno).....	97
Figura 4.3 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 2 - Inverno)	97
Figura 4.4 – Variação da temperatura de operação na ETAR ao longo de um dia (cenário 2 - Verão).....	98
Figura 4.5 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 2 - Verão).....	100
Figura 4.6 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 2 - Verão)	100
Figura 4.7 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 3 - Inverno).....	103
Figura 4.8 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 3 - Inverno) ...	103
Figura 4.9 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 3 - Verão).....	105
Figura 4.10 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR (Cenário 3 - Verão)	105
Figura 4.11 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 4 - Inverno).....	107
Figura 4.12 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 4 - Inverno) .	108
Figura 4.13 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 4 - Verão).....	109
Figura 4.14 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 4 - Verão)	110

Figura 4.15 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 5 - Inverno).....	112
Figura 4.16 – Variação dos valores KLa ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 5 – Inverno)	113
Figura 4.17 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 5 - Verão)	114
Figura 4.18 – Variação dos valores KLa ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 5 – Verão)	115
Figura 4.19 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 6 - Inverno).....	117
Figura 4.20 – Variação dos valores KLa ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 6 - Inverno)	117
Figura 4.21 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 6 - Verão)	119
Figura 4.22 – Variação dos valores KLa ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 6 – Verão)	119
Figura 4.23 – Planta de ETAR em estudo com desnitrificação (tratamento secundário)	120
Figura 4.24 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 7 - Inverno).....	123
Figura 4.25 - Respiração endógena ao longo dos reatores (Cenário 7 – Inverno)	124
Figura 4.26 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 7 - Inverno) .	124
Figura 4.27 – Variação dos nitratos nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 7 - Verão)	126
Figura 4.28 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 7 - Verão)	127

Figura 4.29 – Respiração endógena ao longo dos reatores (Cenário 7 – Verão)	127
Figura 4.30 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 7 - Verão)	128

ÍNDICE DE TABELAS

Quadro 2.1 – Processos biológicos afetados pela concentração de rbCQO na água residual (Metcalf & Eddy, 2003)	14
Quadro 2.2 – Comparação entre os vários parâmetros usados para caracterização da água residual (Metcalf & Eddy, 2003)	15
Quadro 2.3 – Composição típica de uma água residual doméstica não tratada (Metcalf & Eddy, 2003) ..	17
Quadro 2.4 – Valores típicos dos constituintes das águas residuais dos vários países (Metcalf & Eddy, 2003)	17
Quadro 2.5 – Valor de TRS para objetivos de tratamento em sistemas de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2003)	20
Quadro 2.6 – Principais VLE na descarga de águas residuais (Decreto - Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, Anexo XVIII).....	29
Quadro 2.7 – Principais requisitos para descargas de águas residuais, segundo o tipo de zona do receptor (Decreto de Lei n.º152/97 de 19 de Junho, APA).....	30
Quadro 2.8 – Taxa de área/volume para bolha grosseira e fina (Larsson, 2011)	32
Quadro 2.9 – Categorias de difusores de ar mais usadas (Metcalf & Eddy, 2003)	38
Quadro 2.10 – Taxas de eficiência de transferência de oxigénio de diferentes difusores em águas limpas (Metcalf & Eddy, 2003)	41
Quadro 2.11 – Taxa de transferências de oxigénio para os diferentes tipos de arejadores mecânicos (Metcalf & Eddy, 2003)	44
Quadro 2.12 – Impactos de energia nas tecnologias do tratamento de águas residuais	47
Quadro 2.13 - Exemplos de custo de sistemas de arejamento (Water Environment Federation, 2009) ..	47
Quadro 2.14 – Exemplos de condições-causa-ações (Water Environment Federation, 2009).....	52
Quadro 2.15 – Exemplos de parâmetros controlados e alterados (Metcalf & Eddy, 2003)	53
Quadro 3.1 – Valores <i>standards</i> para as frações de CQO no ASM3.....	62

Quadro 3.2 – Dados relativos à planta da ETAR e concentrações do afluente	67
Quadro 3.3 – Definição dos volumes de reatores e arejamento	67
Quadro 3.4 – Parâmetros cinéticos para espécies dissolvidas (Modelo ASM 3, software ASIM)	70
Quadro 3.5 – Descrição dos parâmetros cinéticos de espécies particuladas (Modelo ASM 3, software ASIM)	71
Quadro 3.6 – Variação do caudal ao longo do dia na ETAR em estudo (Cenário 1)	73
Quadro 3.7 – Variação das concentrações dos diversos parâmetros ao longo do dia na ETAR em estudo (Cenário 1)	74
Quadro 3.8 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio do cenário 1 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Inverno)	76
Quadro 3.9 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio do cenário 1 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Verão)	78
Quadro 3.10 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 1	83
Quadro 3.11 – Valores de taxa de fluxo de ar requerido para o cenário de projeto da ETAR de estudo..	85
Quadro 3.12 – Propriedades do difusor	86
Quadro 3.13 – Dimensionamento do sistema de arejamento para o cenário de projeto da presente ETAR de estudo	89
Quadro 3.14 – Gastos energéticos referentes ao cenário de projeto por hora	91
Quadro 3.15 – Gastos energéticos referentes ao cenário de projeto para um ano (Época Inverno e Verão)	91
Quadro 3.16 – Custos da energia gasta pelos sobrepessores (Época Inverno e Verão)	92
Quadro 4.1 – Variação da temperatura de operação ao longo do dia (cenário 2 - Inverno)	95
Quadro 4.2 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 2 - Inverno)	96
Quadro 4.3 – Variação da temperatura do afluente ao longo do dia no presente cenário (cenário 2 - Verão)	98
Quadro 4.4 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 2 - Verão)	99
Quadro 4.5 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 2	101

Quadro 4.6 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 3 - Inverno).....	102
Quadro 4.7 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 3 - Verão).....	104
Quadro 4.8 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 3.....	105
Quadro 4.9 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 4 - Inverno).....	106
Quadro 4.10 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 4 - Verão).....	108
Quadro 4.11 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 4.....	110
Quadro 4.12 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 5 - Inverno).....	111
Quadro 4.13 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio do cenário 6 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 5 – Verão)	113
Quadro 4.14 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 6.....	115
Quadro 4.15 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio 6 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 6 – Inverno).....	116
Quadro 4.16 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 6 – Verão).....	118
Quadro 4.17 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 6.....	120
Quadro 4.18 – Definição dos volumes de reatores e arejamento	121
Quadro 4.19 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 7 - Inverno).....	122
Quadro 4.20 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 7 - Verão).....	125
Quadro 4.21 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 7.....	128
Quadro 4.22 – Valores de taxa de fluxo de ar requerido para cada cenário simulado da ETAR de estudo	129
Quadro 4.23 – Potências necessárias referentes aos diversos cenários.....	130

Quadro 4.24 – Consumos de energia referentes aos diversos cenários para um ano (Época Inverno e Verão)	130
Quadro 4.25 – Eficiência energética (Época Inverno e Verão).....	131
Quadro 4.26 – Poupança de energia anual (Época Inverno e Verão)	131
Quadro 4.27 – Poupança de energia anual (Considerando a soma das épocas de Inverno e Verão)	132
Quadro 5.1 – Definição da planta.....	139
Quadro 5.2 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O_2 e valor K_La no(s) reator(es)	139
Quadro 5.3 – Concentrações dos diversos parâmetros (por afluente) nas diversas espécies.....	140
Quadro 5.4 – Condições iniciais por espécie	140
Quadro 5.5 – Definição do ciclo de estudo	141
Quadro 5.6 – Variação do(s) afluente(s) ao longo do ciclo	141
Quadro 5.7 – Variação das espécies dissolvidas ao longo do ciclo	142
Quadro 5.8 – Variação das espécies particuladas ao longo do ciclo	143
Quadro 5.9 – Variação do <i>setpoint</i> de O_2 ou K_La ao longo do ciclo no(s) reator(es).....	144
Quadro 5.10 – Variação da temperatura ao longo do ciclo	144
Quadro 5.11 – Definição da planta.....	145
Quadro 5.12 – Condições iniciais por espécie	145
Quadro 5.13 – Condições iniciais por espécie	146
Quadro 5.14 - Variação da temperatura ao longo do ciclo – Apresentado no capítulo 4	146
Quadro 5.15 – Condições iniciais por espécie	147
Quadro 5.16 - Variação da temperatura ao longo do ciclo – Apresentado no capítulo 4	147
Quadro 5.17 – Variação das espécies dissolvidas ao longo do ciclo	148
Quadro 5.18 – Variação das espécies particuladas ao longo do ciclo	149
Quadro 5.19 – Variação do(s) afluente(s) ao longo do ciclo	150
Quadro 5.20 – Variação das espécies dissolvidas ao longo do ciclo	151
Quadro 5.21 – Variação das espécies particuladas ao longo do ciclo	152
Quadro 5.22 – Controlo por equações	152

Quadro 5.23 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O ₂ e valor K _L a no(s) reator(es).....	153
Quadro 5.24 – Condições iniciais por espécie.....	153
Quadro 5.25 – Variação do <i>setpoint</i> de O ₂ ou K _L a ao longo do ciclo no(s) reator(es)	154
Quadro 5.26 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O ₂ e valor K _L a no(s) reator(es).....	154
Quadro 5.27 – Condições iniciais por espécie.....	155
Quadro 5.28 – Controlo por On/Off.....	155
Quadro 5.29 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O ₂ e valor K _L a no(s) reator(es).....	156
Quadro 5.30 – Condições iniciais por espécie.....	156
Quadro 5.31 – Controlo por <i>On/Off</i>	157
Quadro 5.32 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O ₂ e valor K _L a no(s) reator(es).....	157
Quadro 5.33 – Condições iniciais por espécie.....	158
Quadro 5.34 – Definição da planta	158
Quadro 5.35 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O ₂ e valor K _L a no(s) reator(es).....	159
Quadro 5.36 – Condições iniciais por espécie.....	159
Quadro 5.37 – Variação do <i>setpoint</i> de O ₂ ou K _L a ao longo do ciclo no(s) reator(es)	160
Quadro 5.38 – Condições iniciais por espécie.....	161
Quadro 5.39 – Peso molecular, peso específico e densidade dos gases encontrados na água residual a condições <i>standard</i> (0°C, 1atm).....	163
Quadro 5.40 – Propriedades físicas da água (Unidade SI)	163
Quadro 5.41 – Concentração de oxigénio dissolvido na água em função da temperatura e salinidade.	163

ABREVIATURAS

ρ_{air}	Densidade do ar
Θ	Fator de correção de temperatura a $K_L a$
$^{\circ}\text{C}$	Graus centígrados
Al	Alumínio
C	Concentração de oxigénio dissolvido
C_{20}	Estado da concentração de oxigénio dissolvido saturado atingido em tempo infinito para um determinado difusor a 20°C e 1 atm
C_{50}	Matéria orgânica biodegradável concentrada na água residual
CBO	Carência Bioquímica de oxigénio
CBO_5	Carência Bioquímica de oxigénio ao final de 5 dias
Cl	Cloro
CQO	Carência química de oxigénio
Cr	Crómio
C_s	Concentração de oxigénio dissolvido em equilíbrio
C_{ST}	Concentração de saturação à temperatura T
C_{STH}	Concentração de oxigénio a altitude e temperatura do licor misto de correção
CSTH_r	Concentração de oxigénio a altitude H_a e temperatura T em água limpa
d	Dia
DD	Taxa relativa à área de difusores por área do fundo do tanque
EC	Condutividade elétrica
Esavings	Poupança de energia
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
F/M	Relação entre alimento (<i>Food</i>) e microrganismos (<i>Microorganisms</i>)
Fe	Ferro
FP	Fator de pico
g	Grama
h	Altura do tanque
H	Hidrogénio
Hg	Mercúrio

ABREVIATURAS

K	Kelvin
kg	Quilograma
K_La	Coeficiente de transferência de oxigénio
kN	Quilonewton
kWh	Quilowatts por hora
L	Litro
m	Metro
M	Moles
mg	Miligramma
MJ	Mega Joules
MLSS	Sólidos suspensos do licor misto
MLSSV	Sólidos suspensos voláteis do licor misto
Mn	Manganês
n	Número de difusores
N	Nitrogénio
nbSVV	Sólidos suspensos voláteis não biodegradáveis
NH₃	Azoto amoniacal
NH₄⁺	Amónio
NO₂⁻	Dióxido de azoto
NO₃⁻	Nitratos
NT	Azoto total
O₂	Oxigénio
OD	Oxigénio dissolvido
OD_s	Oxigénio dissolvido saturado
O_t	Concentração de oxigénio que deixa o tanque
OTR	Taxa de transferência de oxigénio
P	Fósforo
P_{atm,H}	Pressão atmosférica da água à altitude H e temperatura T
P_b	Chumbo total
P_f	Fração de amostra
pH	Potencial hidrogeniónico
P_{input}	Potência de alimentação
P_{w, Effdepth}	Pressão efetiva da profundidade
Q	Caudal de afluente
Q-Q_w	Caudal de afluente tratado
Q_r	Caudal de recirculação de lamas

Q_w	Caudal de lamas em excesso
rbCQO	CQO biodegradável prontamente solúvel
r_M	Taxa de oxigénio usado pelos microrganismos
s	Segundo
S	Enxofre
S_0	Concentração de substrato no afluente
SAE	Eficiência de arejamento <i>standard</i>
S_c	Concentração de substrato na recirculação de lamas
SDT	Sólidos dissolvidos totais
S_e	Concentração de substrato no efluente tratado
SO_3	Sulfitos
SO_4	Sulfatos
SOTE	Eficiência de transferência de oxigénio <i>standard</i>
SOTR	Taxa de transferência de oxigénio <i>standard</i>
SSF	Sólidos suspensos fixos
SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
ST	Sólidos totais
S_w	Concentração de substrato no caudal de lamas
T	Temperatura do licor misto
TKN	Concentração de azoto total
COT	Carbono orgânico total
TRS	Tempo retenção de sólidos
V	Volume do tanque
VLE	Valores limite de emissão
VM	Vazão média ao longo de um determinado período
VP	Vazão num determinado período de tempo
VTA	Volume teórico da zona de oxigenação
VTO	Volume teórico da zona anóxica
W_{O_2}	Fluxo de massa de oxigénio no ar
X	Concentração de sólidos suspensos totais no tanque de arejamento
X_0	Concentração de microrganismos no afluente
X_e	Concentração de sólidos suspensos totais no caudal efluente final
X_r	Concentração de sólidos suspensos totais na recirculação de lamas
X_v	Concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de arejamento
X_w	Concentração de sólidos suspensos totais nas águas de lamas ativadas

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A água é fundamental para a existência de vida no nosso planeta, e permite gerar muitos outros recursos necessários à evolução da sociedade. A percepção da importância dos recursos hídricos data de há muitos séculos e o entendimento da necessidade de um saneamento básico é perceptível já nos povos Romanos que construíram os primeiros sistemas centralizados que permitiam conduzir as águas residuais domésticas a fossas construídas para esse efeito. Os benefícios de um sistema de saneamento básico incluindo não só a drenagem das águas residuais e pluviais, mas também a acessibilidade a água potável e a eliminação dos resíduos sólidos, correspondem a uma melhoria das condições de higiene e salubridade, dificultando a transmissão e propagação de doenças e garantindo melhores condições ambientais e económicas ao nível dos aglomerados populacionais.

A água residual que provém do uso doméstico e industrial contém microrganismos patogénicos e produtos tóxicos nocivos à saúde pública e também às espécies de fauna e flora existentes nas principais massas de água e que são direta ou indiretamente dependentes destas. Com o aumento do número de habitantes e de indústrias, bem como com o desenvolvimento associado, houve um aumento dos níveis de poluição. Consequentemente, tal resultou, também numa maior preocupação na minimização deste problema, traduzindo-se num conjunto de ações socioeconómicas com vista a promover uma relação equilibrada entre o Homem e a água, preservando o meio ambiente, tendo sido desenvolvidas as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). As ETAR têm como objetivo atingir, no fim de todos os processos de tratamento, um nível de qualidade da água compatível com a não degradação das condições existentes no meio recetor, atendendo a que esse meio recetor poderá ser novamente uma origem de água para várias utilizações (uso doméstico industrial, rega, fins recreativos, etc.), bem como ser a base de sobrevivência das espécies locais.

Não obstante a importância que uma ETAR tem para a sociedade, é preciso ter em conta os custos que a mesma representa, seja ao nível do investimento inicial, seja ao nível dos custos de exploração ao longo do ciclo de vida. Geralmente, porém, na fase de projeto e construção são menosprezados os custos de exploração / manutenção dos equipamentos ao longo do período de vida útil, que acabam por se revelar muitas vezes bastante superiores aos custos de investimento.

Nesse sentido, é fundamental explorar o potencial de otimização dos níveis de oxigénio, nutrientes e energia gasta, tentando obter a mesma eficácia de tratamento, com o menor consumo de recursos possível.

Por outro lado, o processo de arejamento de lamas ativadas é o que consome mais energia numa ETAR, correspondendo, habitualmente, a mais de 50% do consumo de energia. Nesse sentido, qualquer potencial de otimização deste processo, poderá representar uma redução significativa dos custos de exploração de uma ETAR.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho pretende demonstrar que com os conhecimentos e aptidões adquiridos ao longo do trajeto académico o aluno consegue apresentar um estudo aprofundado e proposta de soluções de otimização para a problemática em causa e respetivos casos de estudo.

Assim, os principais objetivos apontados para o presente projeto foram:

- Revisão bibliográfica e aprofundamento dos conhecimentos relativos ao processo de tratamento de águas residuais por lamas ativadas, sistemas de arejamento e potencial de otimização energética dos mesmos.
- Sistematização dos conceitos relativos ao processo de dimensionamento do processo de lamas ativadas, do sistema de arejamento, da quantificação das necessidades de arejamento e da estimativa dos consumos de energia associados.
- Utilização de uma ferramenta para avaliação das necessidades de oxigénio em diferentes cenários num caso de estudo teórico de uma ETAR (no caso, foi utilizado um software de modelação do processo biológico de lamas ativadas).
- Simulação de diferentes cenários para avaliação dos efeitos em termos de consumos de energia, por variação das condições de processo (caudais, cargas, temperaturas) ou introdução de alterações ao sistema de arejamento (garantia de existência de condições para a desnitrificação, controlo dos níveis de OD no tanque, etc.), face ao previsto no processo de dimensionamento.

1.3 ESTRUTURA DO PROJETO

O presente relatório de projeto encontra-se organizado em cinco capítulos, sendo o primeiro relativo à introdução e o último às conclusões finais. No primeiro capítulo são apresentadas as considerações iniciais onde é explicado: a natureza do trabalho (introduzido o tema), são identificados os objetivos do relatório

e apresentada a estrutura geral do relatório. Os restantes capítulos abordam o tema do trabalho, a teoria que ajuda à compreensão do projeto e cálculos dos capítulos posteriores e respetivas conclusões:

- Capítulo 1: Considerações iniciais, objetivos do relatório e ainda estrutura do relatório.
- Capítulo 2: Considerações teóricas sobre a área do relatório. É apresentado o funcionamento da infraestrutura objeto de estudo e parâmetros que influenciam o seu dimensionamento e funcionamento. É feita uma revisão à estrutura de toda a infraestrutura bem como ao processo de lamas ativadas. São ainda apresentados os tipos de sistema de arejamento e as equações que permitem a modelação do sistema.
- Capítulo 3: Início da componente prática do projeto, abordando a descrição da ETAR em estudo, tal como a descrição da modelação do sistema de tratamento estudado, e o dimensionamento do seu sistema de arejamento e análise aos dados atuais.
- Capítulo 4: São apresentados os resultados obtidos e respetiva análise para a simulação de diferentes cenários para a ETAR estudada, segundo a perspetiva do potencial de otimização do sistema de arejamento.
- Capítulo 5: São apresentadas as principais conclusões do estudo realizado, bem como fornecidas algumas indicações de possíveis desenvolvimentos que possam ser levados a cabo no futuro.
- Referências bibliográficas
- Anexos

2 FUNCIONAMENTO DE UMA ETAR

2.1 GENERALIDADES

Entende-se por águas de uso doméstico, as que resultam do metabolismo humano e de atividades domésticas, como em limpezas ou uso culinário, provenientes de instalações residenciais e serviços. As águas industriais são aquelas que não provêm de qualquer tipo de atividade doméstica nem pluvial e a composição desta resulta da função e processos de produção. As águas residuais urbanas, as águas tratadas na ETAR, são as águas domésticas ou a mistura destas com as águas industriais e/ou pluviais (Decreto Lei n.º236/98 de 1 de Agosto). Estas águas, pela sua composição (elevada carga orgânica biodegradável), tornam-se impróprias para consumo e prejudicial para o ambiente por ter um elevado índice de contaminação. Entende-se que a água que irá ser despoluída na ETAR tem proveniência de usos domésticos ou industriais que entra nos sistemas de águas residuais através de rede de esgotos, podendo, ainda ter uma parcela de água da chuva, infiltrações e escoamentos superficiais. A ETAR (Figura 2.1) surge, então, como uma infraestrutura capaz de fazer esta despoluição e devolver a água ao meio recetor em condições ambiental e legalmente aceitáveis. Torna-se, então, possível o reaproveitamento deste recurso hídrico através de tratamentos químicos, biológicos e físicos que são aplicados em qualquer ETAR.



Figura 2.1 – Vista aérea de uma ETAR (Newton.pt)

Inicialmente as ETAR's foram criadas com o intuito de tratar as águas de uso doméstico, mas com a evolução da indústria, tornou-se perceptível que era necessário também tratar as águas provenientes desse setor utilizador, de modo a não prejudicar o ambiente pelas descargas nas principais massas de água. Por esse motivo, também se encaminham pela rede de esgotos os poluentes das indústrias até às ETAR's (ainda que sujeitos a um tratamento prévio, de acordo com o tipo de indústria e a legislação em vigor), obtendo assim uma diminuição da matéria poluente da água. Essa matéria poluente é entendida como a “introdução direta ou indireta por ação humana, de substâncias ou de calor na água e no solo, suscetíveis de prejudicar a saúde humana ou a qualidade do ambiente e de causar a deterioração ou entraves na fruição do ambiente e na legítima utilização da água e do solo” (Decreto Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).

Uma ETAR tem, portanto, que conseguir:

- Proteger o ambiente, ou seja, rios e lagos;
- Evitar o contágio e proteger a saúde pública em geral;
- Garantir que a água possa ser reaproveitada;

A matéria que provém de águas residuais das indústrias também é diferente da que existe nas águas residuais domésticas e, portanto, as características previstas para as ETAR's também tiveram que ser adaptadas e tiveram de se fazer constantes evoluções às tecnologias e tipos de tratamentos das ETAR's. O aumento da população também contribuiu para essa necessidade de evoluir. Dependendo da necessidade e meta a atingir de diminuição de poluição, é definido o processo de tratamento a executar, às fases líquida, sólida e gasosa para a despoluição das águas e reaproveitamento a fim de se atingir o objetivo de qualidade de água, que se define como a “qualidade pretendida para uma massa de água por um determinado período de tempo ou a alcançar dentro de um determinado prazo” (Decreto de Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).

Os tratamentos a seguir por qualquer ETAR, segundo Metcalf & Eddy (2003), são, então:

1. Tratamento preliminar, onde são retirados os sólidos de maiores dimensões, bem como areias e gorduras;
2. Tratamento primário, onde são retirados os materiais flutuantes;
3. Tratamento secundário, onde é removida a matéria orgânica;
4. Tratamento terciário, onde são removidas as bactérias, nutrientes e SST em excesso (desinfecção);

Na Figura 2.2, representa-se o esquema de funcionamento supracitado de uma ETAR, explicitando além das quatro fases de tratamento, os procedimentos existentes em cada um deles:

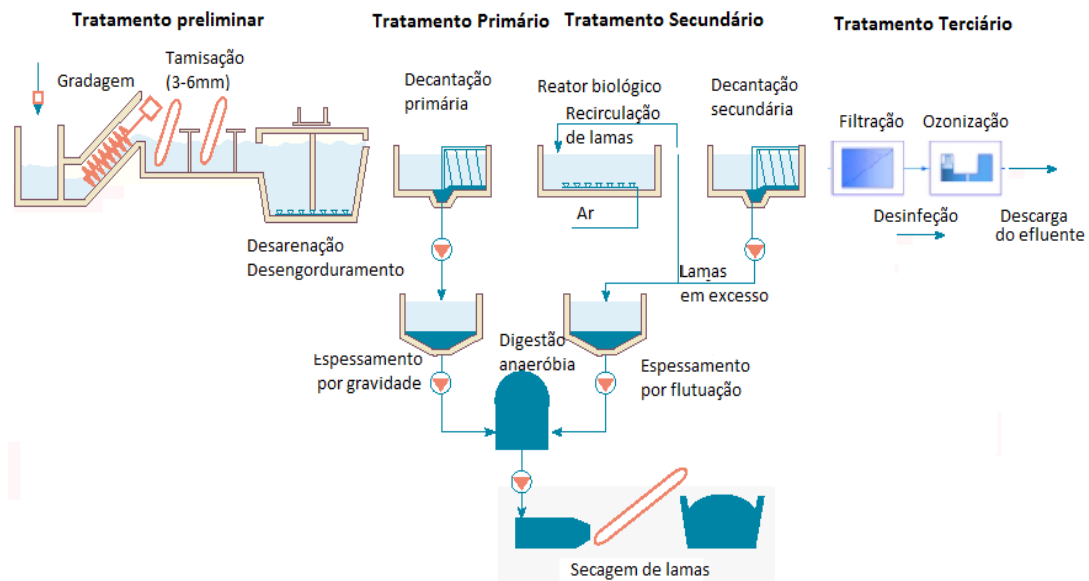


Figura 2.2 – Esquema de funcionamento de uma ETAR (Grupo Volund, 2016)

O tratamento preliminar, como o nome indica, é a primeira fase de tratamento consistindo numa série de procedimentos físicos de separação dos sólidos de maiores dimensões e gorduras à entrada da ETAR. Sólidos esses que podem ser plásticos, papel, madeiras, detritos, etc. Esta fase consiste em separar, filtrando através de uma gradagem e tamisação, os maiores resíduos (matéria sólida grosseira), flutuantes e gorduras que a água contém, não deixando passar estes componentes para as próximas fases do processo de tratamento a jusante. Este procedimento ajuda não só pela separação fácil de massa maior existente no afluente, ou seja, a interferências das maiores partículas nos tratamentos a jusante que não tem capacidade para estas e são preparados para outro tipo, mas também na proteção dos equipamentos a jusante, colmatando os riscos de danificação das bombas, “pás”, tubagens, tanques e outros. Reduzindo assim o número de operações de manutenção dos equipamentos e custos. Além da gradagem também poderá existir uma fase de desarenação/desengorduramento, que consiste, como o próprio nome indica, em remover as partículas de areia por sedimentação. Como as partículas de areia são mais densas vão se depositando por ação da gravidade no fundo do tanque separando-se da matéria orgânica que segue para o tratamento a seguir (primário), protegendo assim também todos os equipamentos a jusante da abrasão que poderia ser provocada pela areia. Também se procede à remoção dos óleos e gorduras nos pré-decantadores ou desarenadores aquando da remoção da areia.

Ainda na fase de tratamento primário, é habitualmente realizada a decantação primária (existem mais decantações feitas a jusante), ou seja, as partículas em suspensão são eliminadas por ação da gravidade em que a matéria suspensa é separada da parte líquida (sedimentação), tornando possível a eliminação desta para jusante. Isto é possível, pois a densidade dos sólidos é superior à densidade da água. Sendo este um processo físico, geralmente é acrescentado também (tratamento químico) coagulantes químicos às partículas pois por serem pequenas, a decantação por vezes não funciona (ou seja, as partículas não se

depositam no fundo do tanque como é objeto da decantação). Estes coagulantes atraem as impurezas, agrupando-as em partículas maiores e tornando-as mais pesadas o que faz com que seja mais fácil a deposição destas no fundo do tanque (o seu peso específico passa a ser maior que o da água e torna-se mais fácil a sua sedimentação). É também possível a realização de um processo de floculação, que passa por agitar a água de modo ajudar a coagulação, por permitir a maior propagação do coagulante a mais partículas e por consequente melhor contato entre partículas, resultando em grupos de matérias maiores que passam para a decantação/sedimentação e eliminação a montante do tratamento secundário. Neste tratamento, a velocidade do afluente é menor que no sistema preliminar e também já há interferências com a concentração de carência bioquímica de oxigénio (CBO) devido aos tratamentos químicos feitos. A remoção de uma parte dos sólidos sedimentáveis nesta fase do processo resulta na produção das lamas primárias.

O tratamento secundário, feito a seguir ao primário, difere na tipologia de tratamento. Irá ser aprofundado noutro ponto presente neste projeto. Como as partículas aqui já se esperam menores, é usado um processo biológico, mas também físico-químicos. São criadas condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos mantidos em suspensão por agitação ou arejamento no reator biológico. É através da atividade de micro-organismos, acrescentados à matéria orgânica que passa pelos tanques dos tratamentos secundários, que este processo ocorre. Pode ser aeróbio (com oxigénio), anaeróbio (sem oxigénio) ou anóxico (ausência de oxigénio na presença de nitratos). Sendo que no primeiro, há introdução de oxigénio nos volumes acumulados de oxigénio dissolvido (OD); no segundo, há ausência de OD, e no terceiro, que pode ter um nível de OD diminuto, ocorre a desnitrificação e remoção de fósforo (Metcalf & Eddy, 2003). Os microrganismos (trans)formam-se através da injeção de oxigénio e outros nutrientes, como fósforo, que permitem o seu crescimento, formando por si só uma matéria biológica que se alimenta da matéria orgânica proveniente do tratamento primário, agrupando e concentrando-a num material orgânico que permite a fácil limpeza e remoção da matéria da água na decantação secundária onde se depositam as lamas resultantes, tornando-a mais limpa para montante. Esta necessidade de arejamento implica que o teor de oxigénio dissolvido não seja inferior a 2 mg/l (Metcalf & Eddy, 2003). Para promover o oxigénio no tanque de arejamento e este processo são implementados arejadores ao tanque. Os arejadores escolhidos para este processo dependerão dos seguintes parâmetros:

- Volume do tanque de arejamento;
- Eficiência do arejador escolhido;
- Quantidade de oxigénio a fornecer;
- Temperatura;

- Características do afluente (água residual);
- Coeficiente de transferência de oxigénio;

O reator biológico assume formas distintas conforme o necessário ao processo de arejamento, podendo ser retangular, quadrada ou vala de oxidação oval. Nesta última, o afluente circula pelos canais através do arejamento com um regime de arejamento e idade de lamas específico (Metcalf & Eddy, 2003).

No tratamento terciário, o último, por vezes não usado em todas as ETAR's dependendo das necessidades, faz-se a desinfecção dos microrganismos, nutrientes como fósforo e azoto, e micropoluentes restantes, sejam vírus ou bactérias existentes do tratamento anterior. Se emitidos em excesso estes nutrientes no meio hídrico em contacto com os já existentes podem levar a uma eutrofização do meio que promove o crescimento de algas. A maioria das algas acaba por morrer e as bactérias fruto da sua decomposição removem o oxigénio e produzem toxinas, levando à morte de seres vivos, como peixes. Este tratamento pretende tornar mais eficiente o processo da ETAR, pela capacidade de remover os sólidos, nutrientes e microrganismos referidos anteriormente. Alguns dos processos impostos são:

- Filtração, retenção de microrganismos;
- Ozonização, injeção de ozono com descarga elétrica de modo a remover os microrganismos;
- Absorção química ou por carvão, que reduzem a concentração de sólidos em suspensão existentes;
- Cloragem, adição de cloro, altamente tóxico para os microrganismos promovendo a sua remoção;
- Desinfecção por UV;

Segundo Vivas, o resumo de atividades em cada tipo de tratamento numa ETAR é apresentado na Figura 2.3 a seguir:

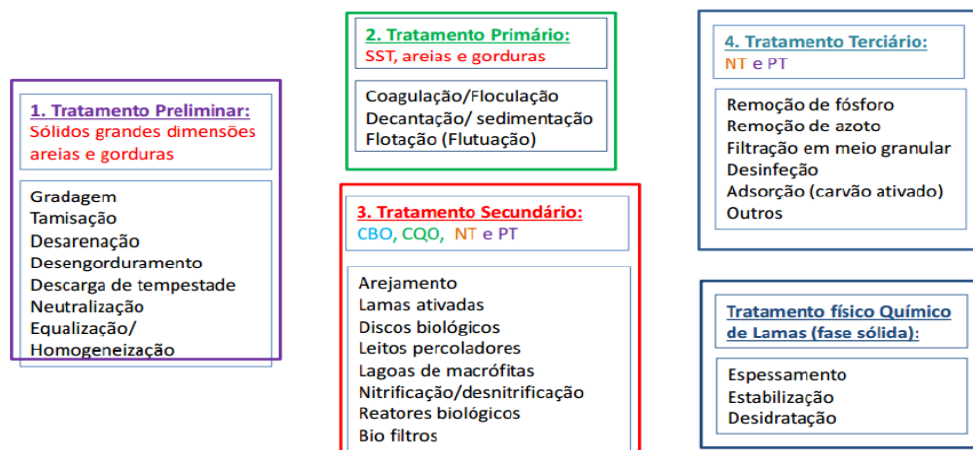


Figura 2.3 – Resumo de atividades em cada tratamento numa ETAR (Vivas, 2014)

2.2 ÁGUAS RESIDUAIS - CARACTERIZAÇÃO

As águas residuais são constituídas por um aglomerado de substâncias orgânicas e inorgânicas, incluindo o mais variado número e tipo de microrganismos que se encontram em suspensão ou dissolvidas.

As águas residuais, que são tratadas na ETAR, são caracterizadas por parâmetros físicos, biológicos e químicos, servindo igualmente de base à avaliação do nível de tratamento. Neste capítulo serão realçados os parâmetros mais importantes pelo impacto que têm na abordagem ao sistema a impor.

De realce nos parâmetros físicos e químicos encontram-se:

- Sólidos totais (ST)
- Matéria orgânica
- Compostos de azoto
- Temperatura
- pH
- Condutividade

Os sólidos totais correspondem à matéria que se obtém após evaporação e secagem das lamas resultantes do tratamento da água residual. Através da filtração da matéria resultante, podem distinguir-se dois tipos:

- Sólidos suspensos totais (SST), correspondem à matéria pesada que fica no filtro e pesada após secagem a 105 °C. Através desta fração contida nas águas residuais, é possível quantificar a carga poluente existente. Cerca de 2/3 dos SST são de natureza orgânica, onde se incluem os sólidos suspensos voláteis (SSV), os restantes 1/3 são de natureza inorgânica, em que se incluem os sólidos suspensos fixos (SSF). Ao determinar a quantidade de SST é possível verificar a capacidade de depuração da ETAR, ou seja, a eficiência de remoção de sólidos na saída, no efluente.
- Sólidos dissolvidos totais (SDT), corresponde à matéria que passa pelo filtro e é evaporada e seca a uma temperatura específica.

A matéria orgânica pode ser dividida em frações biodegradável e não biodegradável (Figura 2.4). Por outro lado, atendendo à fração biodegradável, sobre a qual irá incidir a atividade dos microrganismos, existe ainda uma subdivisão em parte solúvel, significa que pode ser dissolvido e portanto é mais rápida a sua absorção pelos microrganismos, e em parte particulada, de absorção mais lenta e, portanto, torna-se mais difícil a remoção dessa fração. Refira-se, ainda, que, a fração não biodegradável, subdivide-se igualmente, em matéria em suspensão (particulada) e matéria solúvel, embora nenhuma destas componentes seja passível de remoção pelo tratamento biológico.

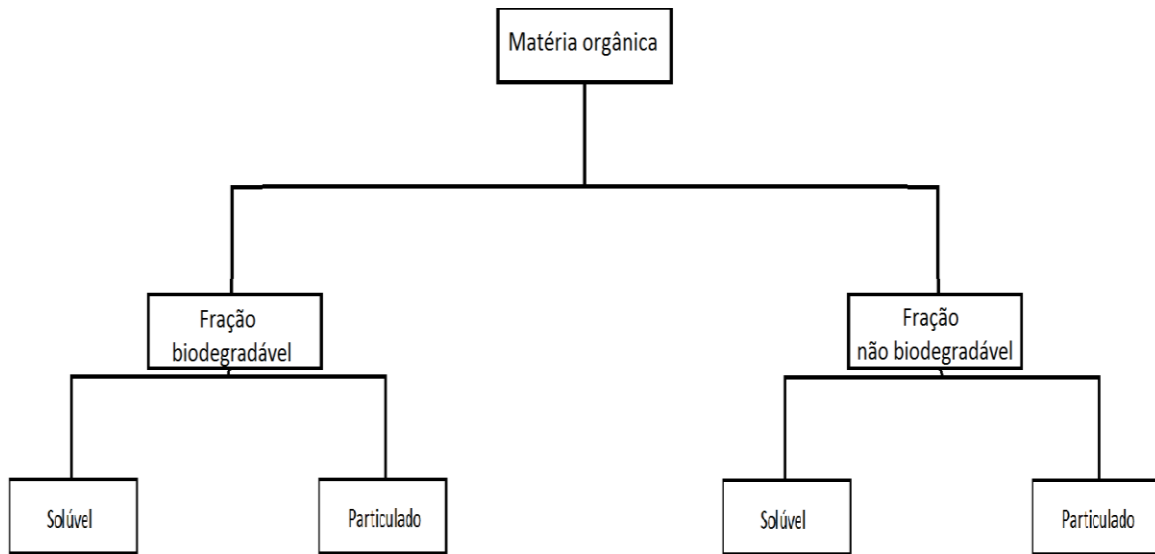


Figura 2.4 – Frações constituintes da matéria orgânica (Metcalf & Eddy, 2003)

A matéria orgânica é caracterizada através de três tipos de análises:

- CBO – carência bioquímica de oxigénio, que corresponde à quantidade de oxigénio consumido pelos microrganismos na decomposição bioquímica da matéria orgânica (aeróbia). Quando existe uma abundância de matéria orgânica, as bactérias consomem oxigénio como impulsionador da decomposição desta. Entende-se, portanto, que a taxa de CBO será tanto maior quanto maior for a quantidade de matéria orgânica e menor quanto menor for a concentração de matéria orgânica. Expressa em mg/L, a CBO pode ser explicada pela equação (2.1), onde se mede a carência de oxigénio de uma amostra logo após a sua preparação e após a incubação a 20°C após um determinado período de tempo (normalmente 5 dias – CBO₅):

$$CBO = \frac{OD_1 - OD_2}{P} \quad (2.1)$$

onde:

CBO — carência bioquímica de oxigénio (mg/l);

OD₁ — concentração de oxigénio dissolvido de uma amostra diluída imediatamente após a preparação (mg/l);

OD₂ — concentração de oxigénio dissolvido de uma amostra diluída após a incubação (mg/l);

P — fração da amostra da água residual do volume total;

Devido à oxidação da matéria orgânica feita pelos microrganismos e à respiração endógena (processo no qual os organismos, quando esgotados os nutrientes, passam alimentar-se das próprias reservas nutritivas, oxidam o oxigénio internamente para se manterem vivos) o oxigénio

medido na CBO diminui (Metcalf & Eddy, 2003). A taxa de CBO vai variando ao longo do dia dependendo da hora em que se encontra. Esta situação, tem que ver com as atividades que são ou não desenvolvidas ao longo do dia pela população, que afeta as características da água residual e consequentemente a CBO (Figura 2.5). Tipicamente as necessidades de OD durante a noite em comparação com as necessidades durante o dia serão mais baixas, visto que a carga orgânica afluenta é consideravelmente mais baixa.

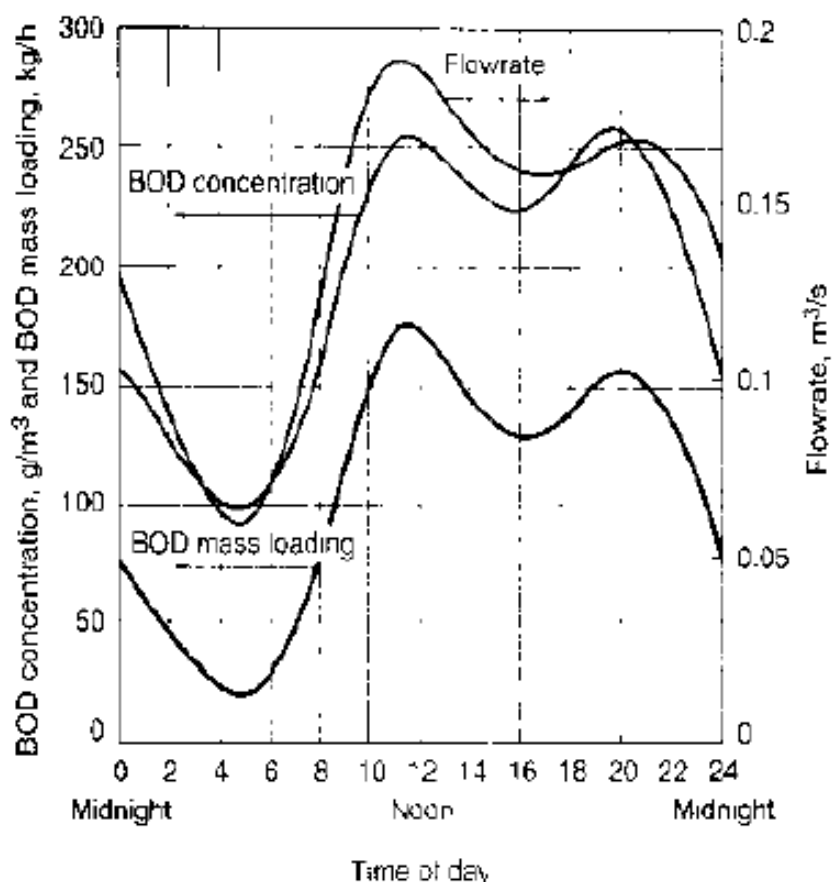


Figura 2.5 – Variação típica do caudal e da concentração de CBO na água residual doméstica ao longo dia (Metcalf & Eddy, 2003)

É frequente referir-se a CBO_5 , que se traduz pela taxa de oxigénio consumida pelos microrganismos na decomposição bioquímica da matéria orgânica, a uma temperatura de 20°C ao final de 5 dias.

Na Figura 2.6, é possível ver a variação das necessidades de O_2 por CBO_5 removida em função do período de tempo de retenção de sólidos no sistema (TRS) e da temperatura. Como se pode verificar, para maiores temperaturas aumentam as necessidades de O_2 e para TRS maiores essas necessidades são também maiores.

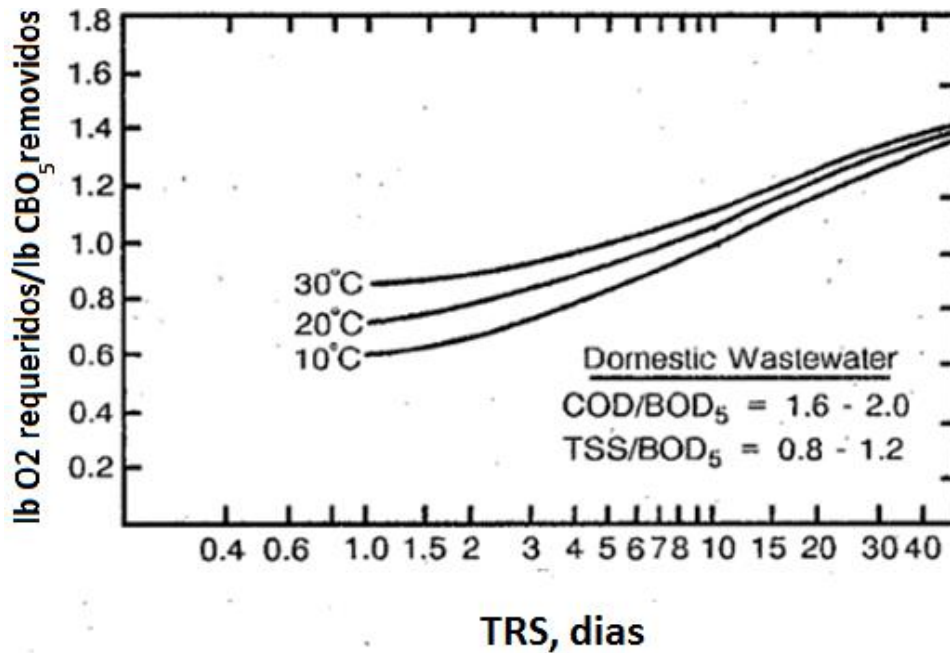


Figura 2.6 – Taxa de consumo do oxigênio para carências de oxigênio (EPA, 1989)

Em que lb corresponde à unidade de massa libra, sendo que 1 lb = 0,453592338 kg.

- CQO – carência química de oxigênio, que corresponde à quantidade de oxigênio consumido na decomposição por oxidação química da matéria orgânica. Expressa em mg O₂/L. Este parâmetro facilita a percepção da quantidade de matéria oxidada e a quantidade segregada pelos microrganismos (Metcalf & Eddy, 2003). Tal como a CBO, quanto maior for esta concentração maior é: (i) o volume de tanque de arejamento necessário, (ii) as necessidades de OD e (iii) a quantidade de lamas ativadas produzidas.

A CQO é dividida em biodegradável e não biodegradável. A parte não biodegradável particulada é quantificada como nbSSV (sólidos suspensos voláteis não biodegradável) pelo que contribui para a concentração de SSV e para o licor misto no processo de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2003). A rbCQO (CQO biodegradável prontamente solúvel), que faz parte da fração biodegradável da CQO, é também extremamente importante para o processo de lamas ativadas (Quadro 2.1), pois esta é rapidamente segregada pelos microrganismos, o que faz requerer o maior nível de OD.

Quadro 2.1 – Processos biológicos afetados pela concentração de rbCQO na água residual (Metcalf & Eddy, 2003)

Processo	Efeitos de rbCQO
Arejamento de lamas ativadas	Em zonas de arejamento, haverá maior carência de OD onde houver maior fração de rbCQO no afluente de CQO.
Remoção biológico de azoto	Haverá maior taxa de desnitrificação com uma maior fração de rbCQO no afluente de CQO. Resulta num volume menor para um tanque anóxico.
Seletor de lamas ativadas	Maior fração de rbCQO no afluente de CQO fornece mais CQO para as bactérias formarem flocos no seletor. Pode ter impacto no índice de volume de formação de lamas.

- COT – Carbono orgânico total, que corresponde à quantidade de carbono na matéria orgânica e pode ser indicativo da poluição existente no afluente. Na Figura 2.7 pode se ver a caracterização das frações que compõem a COT.

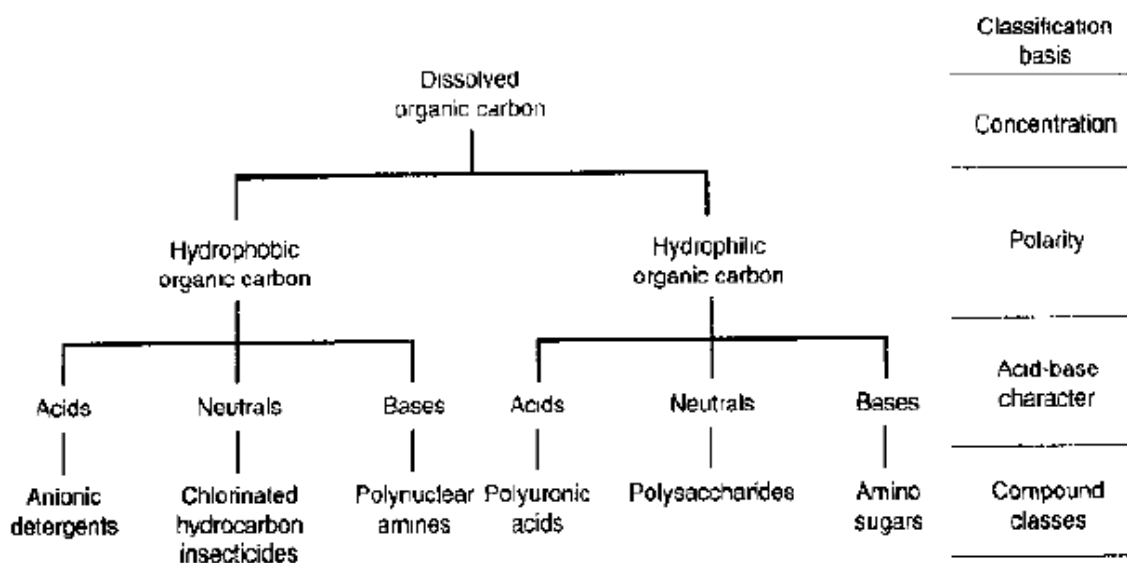


Figura 2.7 – Caracterização das frações que compõem a TOC (Metcalf & Eddy, 2003)

A relação CBO/CQO revela grande importância no estudo das características do afluente a ser tratado, pois essa razão indica-nos a biodegradabilidade do afluente. Normalmente, o intervalo encontra-se entre 1,6 e 2,0. O valor CQO presente é maior que o valor de CBO, e se a razão for próxima de 1 indica-nos que apenas existem poluentes biodegradáveis, se o valor for afastado de um estamos perante um alto teor de poluentes não-biodegradáveis.

No Quadro 2.2 a seguir são apresentados os valores típicos das relações entre CBO/CQO e CBO/COT em diferentes estágios para águas residuais municipais (Metcalf & Eddy, 2003):

Quadro 2.2 – Comparação entre os vários parâmetros usados para caracterização da água residual (Metcalf & Eddy, 2003)

Estágio da água residual	CBO/CQO	CBO/COT
Não tratada	0,3-0,8	1,2-2,0
Depois do tratamento primário	0,4-0,6	0,8-1,2
Efluente final	0,1-0,3	0,2-0,5

Como se pode verificar no efluente final as relações CBO/CQO e CBO/TOC são próximas de 0, estando praticamente eliminados esta componente da matéria orgânica existente na água residual.

Por outro lado, definem-se compostos de azoto presentes na água residual (Figura 2.8), pois o azoto manifesta-se de diversas maneiras devido às alterações e processos químico-biológicos que ocorrem na água residual (através dos tratamentos), desde amoníaco a nitrato (nitrificação), ou seja, forma mais reduzida de azoto à mais oxidada. Pode aparecer também em amoníaco (NH_3) e ião de amónia NH_4^+), etc. e sob a forma de partículas ou dissolvido (Metcalf & Eddy, 2003). A origem do azoto provém dos já referidos processos químicos e também devido à degradação que contamina o afluente que chega às ETAR. Essa degradação provém de componentes usados nos alimentos, fertilizantes nos cultivos, ácidos úricos, matérias vegetais e animais. A remoção dos compostos de azoto é extremamente importante para evitar problemas como eutrofização, toxicidade e também porque são responsáveis por um acréscimo no consumo de oxigénio. Os processos para resolver os impactos que o azoto pode ter no meio ambiente e no Homem serão explicados na secção 2.5 deste relatório. A verificação do parâmetro da amónia permite quantificar o nível de oxigenação necessário nos tanques de arejamento para a sua remoção (Metcalf & Eddy, 2003).

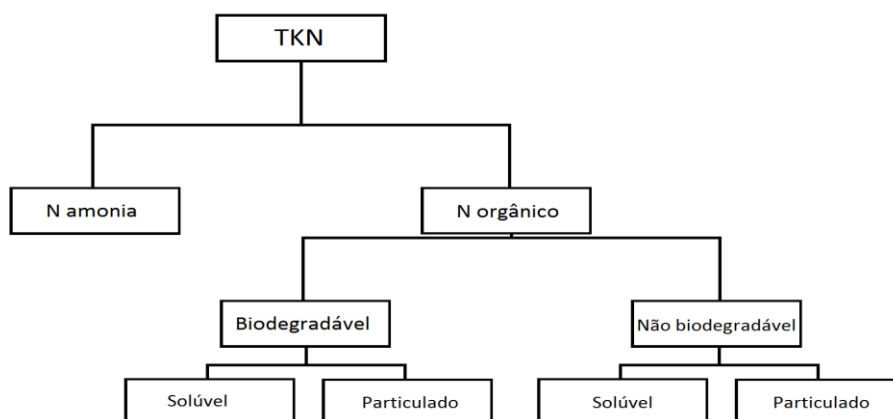


Figura 2.8 – Constituintes fracionados do azoto (TKN – azoto total) na água residual (Metcalf & Eddy, 2003)

A temperatura tem grande impacto nos tratamentos de uma ETAR. A água que se encontra na ETAR, frequentemente, tem uma temperatura acima do normal devido ao efluente das indústrias. Isto tem complicações nas reações químicas a acontecer nos processos de tratamento, podendo estas ser mais rápidas ou lentas consoante o efeito da temperatura (a ser detalhado na nitrificação). Segundo Chen et al. (2002), a eficiência de remoção de CBO/CQO aumenta de uma gama de intervalo 80-85% para 90-95% se a temperatura aumenta de 5 para 30°C. Temperaturas baixas aumentam a produção de sólidos e sólidos finos dispersos que decorrem numa pobre floculação, o que prejudica o tratamento de águas residuais.

A medida do pH tem que ver com a concentração de iões de hidrogénio. Definida pela equação (2.2) a seguir:

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (2.2)$$

onde:

$[H^+]$ — Concentração de iões de hidrogénio (mol/l);

Este parâmetro permite-nos saber em que nível de qualidade se encontra a água. É necessário que o pH do afluente que chega ao tratamento secundário se encontre entre 6 e 9 (pH varia entre 0 e 14, sendo que 7 é considerado um nível neutro, 14 altamente alcalino e 0 alta acidez), para facilitar a ocorrência das reações biológicas. Águas com pH alto podem deixar detritos nas tubagens e danificar o equipamento, com pH baixo são corrosivas. Algo a fazer, é alterar a temperatura que tem efeito também no pH. A seguir ao tratamento, com aplicações das reações biológica e associação do oxigénio a temperaturas esperadas de 25 °C é expectável que a água atinga níveis de pH entre 6,5 e 8,5.

A condutividade presente na água residual traduz-se pelo nível de capacidade que essa mesma tem para conduzir corrente elétrica (Metcalf & Eddy, 2003). Com o aumento de concentração de iões, aumenta também a condutividade e por efeito é possível medir os sólidos dissolvidos totais (SDT) presentes na água residual, através da equação (2.3):

$$SDT = EC \times (0,55 - 0,70) \quad (2.3)$$

onde:

EC — condutividade elétrica (μS/cm);

Ao indicar-nos os SDT, a condutividade traduz-se numa medida indireta da concentração de poluentes na água residual.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), a composição de uma água residual doméstica não tratada e os valores típicos, per capita, referentes a alguns países são apresentados nos Quadro 2.3 e Quadro 2.4 respetivamente:

Quadro 2.3 – Composição típica de uma água residual doméstica não tratada (Metcalf & Eddy, 2003)

Constituinte	Concentração (mg/L)		
	Baixa	Média	Alta
Sólidos Totais (ST)	390	720	1230
Dissolvidos totais (SDT)	270	500	860
Fixos	160	300	520
Voláteis	110	200	340
Sólidos suspensos totais (SST)	120	210	400
Fixos	25	50	85
Voláteis	95	160	315
CBO ₅	110	190	350
TOC	80	140	260
CQO	250	430	800
TKN	20	40	70
Orgânico	8	15	25
Óleos e gorduras	50	90	100

Quadro 2.4 – Valores típicos dos constituintes das águas residuais dos vários países (Metcalf & Eddy, 2003)

País	CBO/Capita.d	SST/capita.d	TKN/capita.d
Dinamarca	55-68	82-96	14-19
Alemanha	55-68	82-96	11-16
Itália	49-60	55-82	8-14
Suécia	68-82	82-96	11-16
Brasil	55-68	55-68	8-14
Estados Unidos	50-120	60-150	9-22

2.3 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

O tratamento secundário, como anteriormente referido, consiste num procedimento biológico, atribuído à adição de bactérias para ajudar na remoção da matéria orgânica existente na água, esta designada por alimento. Esta matéria residual, alimento, existente após o tratamento primário já vem em quantidades menores (mas ainda não cumprindo as normas de descarga) e em parte dissolvida o que faz com que seja necessário usar meios como adição de bactérias e arejamento para segregar a matéria numa unidade maior e concentrada para fácil remoção. As bactérias presentes no tanque de arejamento alimentam-se

da matéria orgânica, decompondo-a e segregando-a em flocos. As bactérias precisam ainda de energia e carbono para o seu perfeito crescimento. As bactérias com mais relevâncias para este estudo são do tipo heterotróficas e autotróficas. As primeiras promovem a oxidação aeróbia através do carbono, energia e oxigénio. As segundas promovem a nitrificação através do carbono, amónia e dióxido de azoto.

O processo de lamas ativadas (Figura 2.9), o mais usual existente em ETAR, consiste em agitar e arejar (através dos sistemas de arejamento é injetado oxigénio) a água residual no tanque do tratamento secundário, sendo que as lamas biológicas são formadas a partir do processo anteriormente descrito (bactérias e microrganismos formam uma matéria orgânica através da alimentação das matérias da água residual). Estas lamas formam ativamente um ciclo, pois reparou-se que era benéfico para a decomposição e fácil limpeza da matéria residual, que estas fossem recolocadas no processo consoante a necessidade de bactérias que estimulem o crescimento de outras para a formação de uma matéria orgânica concentrada a partir da matéria orgânica solúvel e coloidal que permanecia após o tratamento primário. O ciclo consiste em as lamas resultantes passarem a um decantador secundário onde a lama é retirada por sedimentação e em que parte da lama volta à entrada do tanque de arejamento de forma a devolver microrganismos ao tanque sem ser necessário injetar novos, mantendo a concentração de microrganismos necessária, o que se traduz numa otimização da eficiência do processo. Mais pormenorizado, nos decantadores secundários existe uma separação sólida-líquida, separando os flóculos dos microrganismos formados no reator biológico em que foi fornecido primeiramente o oxigénio para a sua formação. A seguir, a partir de um sistema de recirculação de lamas, com início no decantador secundário e fim no reator biológico, as lamas biológicas voltam para o reator biológico e a fase líquida, o efluente dito tratado, passa para o tratamento a seguir, se existente, o terciário. A mistura das lamas ativadas com a água residual no tanque de arejamento é habitualmente designada licor misto. Por outro lado, à concentração de biomassa ativa dá-se o nome de sólidos suspensos voláteis do licor misto (MLSSV) e à mistura da concentração de biomassa ativa com os sólidos totais (voláteis + inertes) dá-se o nome de sólidos suspensos do licor misto (MLSS). Os valores de MLSSV variam entre 2200 e 5000 mg/l e os valores de MLSS variam entre 1500 e 8000 mg/l (Metcalf & Eddy, 2003).

É preciso ter em atenção, no entanto, a relação que existe entre a quantidade de alimento e número de microrganismos, F/M . Isto é, para um valor de matéria residual existente na água afluente deve haver um número equilibrado de microrganismos. Se o valor for elevado, significa que o número de microrganismos é insuficiente para a quantidade de matéria orgânica presente na água residual e, portanto, não irão segregar a matéria em flocos compostos para remoção. Se o valor for baixo o oposto acontece, o que também não é benéfico, porque os microrganismos vão alimentar-se deles próprios (fase endógena) e também não irão segregar a matéria ainda existente. A relação de F/M é dada pela equação (2.4):

$$F/M = \frac{\text{taxa de substrato total}}{\text{biomassa total de microrganismos}} = \frac{QC_{50}}{VX_v} \quad (2.4)$$

onde:

F/M — relação entre alimento e microrganismos (kg CBO/kg SSV.s);

Q — caudal afluente (m³/s);

C₅₀ — concentração da matéria orgânica biodegradável concentrada total na água residual (kg/m³);

V — volume do tanque (m³);

X_v — volume de concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de arejamento (kg/m³);

Por sua vez, o volume total do reator é obtido através da soma entre o valor teórico da zona de oxigenação e anóxica equação (2.5):

$$V = VTO + VTA \quad (2.5)$$

onde:

VTO — volume teórico da zona anóxica (m³);

VTA — volume teórico da zona de oxigenação (m³);

Mais, é necessário estabelecer condições ambientalmente favoráveis nomeadamente no que toca a temperatura, pH, oxigénio e nutrientes, bem como o tempo de residência. Por exemplo se o tempo de residência for maior o valor de F/M será menor. Esta relação aumenta a respiração endógena dos microrganismos que por sua vez aumenta a carência de oxigénio (Metcalf & Eddy, 2003). A taxa de tempo de retenção de sólidos (TRS), também conhecido por idade de lamas, que corresponde ao tempo que a biomassa permanece no sistema, está diretamente relacionada com as lamas em excesso podendo ser obtida pela equação (2.6) (Metcalf & Eddy, 2003):

$$TRS = \frac{V \times X}{Q_w \times X_R + (Q - Q_w) \times X_e} \quad (2.6)$$

onde:

TRS — tempo de retenção de sólidos (dias);

X — Concentração de SST no tanque de arejamento (kg/m³);

Q_w — caudal de lamas em excesso (m³/s);

X_R — concentração de SST no caudal de recirculação de lamas (kg/m³);

X_e — concentração de SST no caudal efluente final (kg/m^3);

No Quadro 2.5 é possível verificar os valores típicos de intervalo de TRS necessários para os objetivos de tratamento serem alcançados. Estes valores podem variar conforme a temperatura do efluente no reator, porque este parâmetro tem papel determinante no TRS.

Quadro 2.5 – Valor de TRS para objetivos de tratamento em sistemas de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2003)

Objetivo de tratamento	TRS (dias)
Remoção de CBO_5 solúvel em águas residuais domésticas	1-2
Conversão de partículas orgânicas de águas residuais domésticas	2-4
Desenvolvimento de biomassa floculenta para o tratamento de águas residuais industriais	3-5
Desenvolvimento de biomassa floculenta para o tratamento de águas residuais domésticas	1-3
Nitrificação completa	3-18
Estabilização de lamas	20-40

Segundo Chen et al. (2002), para se encontrar um valor equilibrado entre oxigénio e nutrientes injetados, e matéria residual, no processo de lamas ativadas deve-se corresponder à equação (2.7) apresentada a seguir, em que os termos da esquerda representam os caudais e matéria produzida pelas lamas ativadas:

$$Q_w X_w + (Q - Q_w) X_e = (Q + Q_w) X - Q_r X_r \quad (2.7)$$

onde:

Q_r — caudal de recirculação de lamas (m^3/s);

X_w — concentração de microrganismos nas lamas em excesso (kg/m^3);

Esta equação indica-nos que a taxa de microrganismos no interior do sistema é igual ao fluxo de microrganismos que entram para o sistema menos o fluxo de microrganismos que sai do reator e o crescimento de microrganismos no interior do sistema. São considerados os SS para a biomassa.

De modo a melhor entendimento do processo de lamas ativadas e desta equação, é apresentado a Figura 2.9 a seguir:

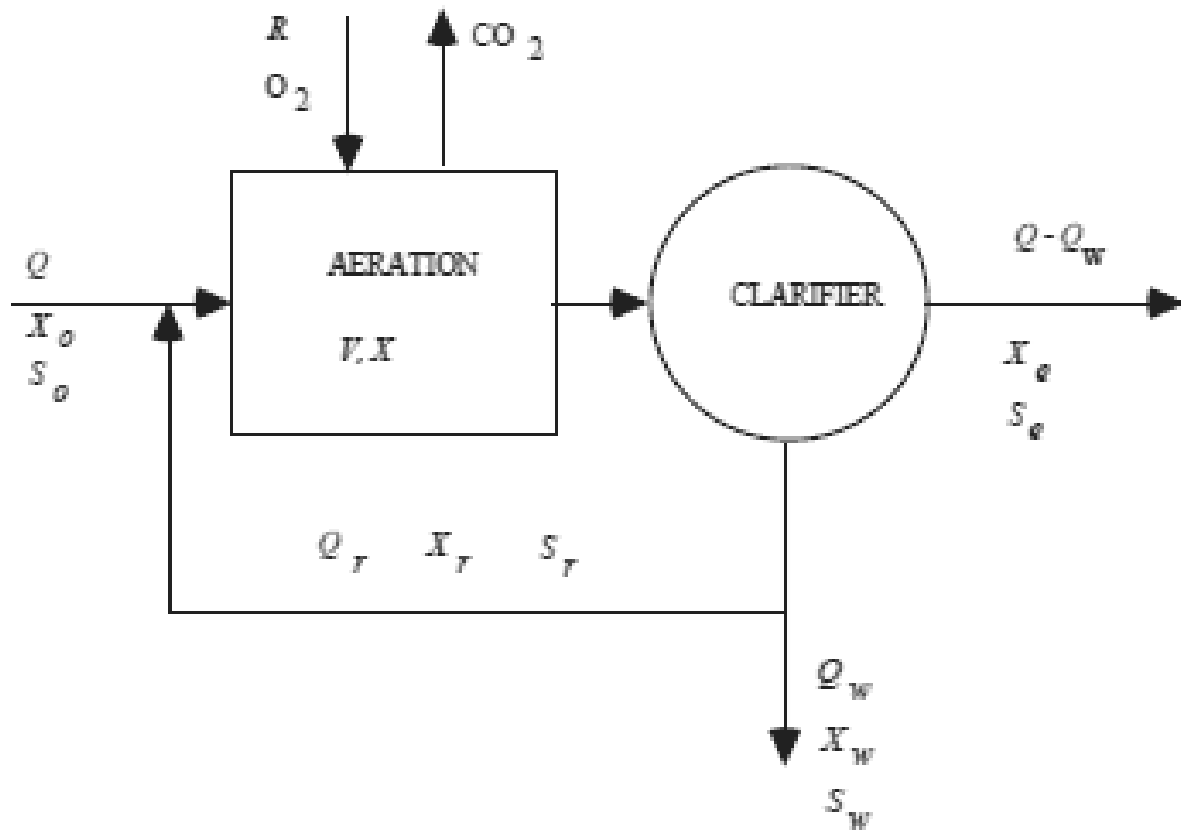


Figura 2.9 – Processo de lamas ativadas (Chen et al., 2002)

onde:

Q — caudal afluyente (m^3/h);

$Q-Q_w$ — caudal de afluyente tratado (m^3/h);

X_0 — Concentração de microrganismos no afluyente (kg/m^3);

S_0 — Concentração de substrato no afluyente ($\text{kg CBO}_5/\text{m}^3$);

S_r — Concentração de substrato na recirculação de lamas (kg/m^3);

S_w — Concentração de substrato no caudal de lamas ($\text{kg CBO}_5/\text{m}^3$);

S_e — Concentração de substrato no efluente tratado ($\text{kg CBO}_5/\text{m}^3$);

Como se pode verificar na Figura 2.9 apresentada, o caudal afluyente, Q , entra no tanque de arejamento onde é injetado oxigénio para criar condições adequadas (aeróbias) à atividade das bactérias. De seguida, a matéria segregada passa para o decantador onde se faz uma separação da fase sólida e a fase líquida, $Q-Q_w$, passa para o processo a seguir (efluente). No que toca à fase sólida, parte será removido (lamas em excesso - Q_w) e parte será recirculado correspondente ao caudal de lamas, Q_r , que voltará ao tanque

de arejamento. Com este processo de recirculação de lamas ativadas é possível definir-se um TRS desejado (objetivo), pois é possível manter uma concentração de lamas suficiente no reator biológico.

2.4 MICRORGANISMOS

Para que se tenha uma melhor compreensão do tratamento de águas residuais, é aconselhável um conhecimento um pouco mais aprofundado da população de microrganismos usados no processo.

É possível afirmar que dentro de um tanque de arejamento pode encontrar-se o mais variado número e tipo de microrganismos, como bactérias, fungos, protozoários, etc., com o papel importante de ajudar à degradação da matéria poluente. Já foram identificadas mais de 18000 espécies de bactérias até hoje (Tandoi et al., 2006). Estes microrganismos são vistos, apenas, a partir da observação microscópica e o seu número no tanque de arejamento varia de acordo com o ciclo de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2003).

Através da observação microscópica e feito um estudo-caracterização de microrganismos presentes na água residual, tais como: (i) tipo de microrganismos, (ii) densidade, (iii) tamanho, (iv) estado desses microrganismos, é possível retirar conclusões e indicações de causa de possíveis problemas que possam existir no processo de tratamento. Essas características podem influenciar parâmetros de avaliação desse processo como:

- F/M;
- TRS;
- OD;

Por exemplo, se houver uma baixa população de protozoários pode indicar que o nível de OD não está correto ou até estar a operar a baixo TRS. (Metcalf & Eddy, 2003).

Problemas das populações de microrganismos relacionados com taxas de F/M e TRS são apresentados na Figura 2.10 a seguir:

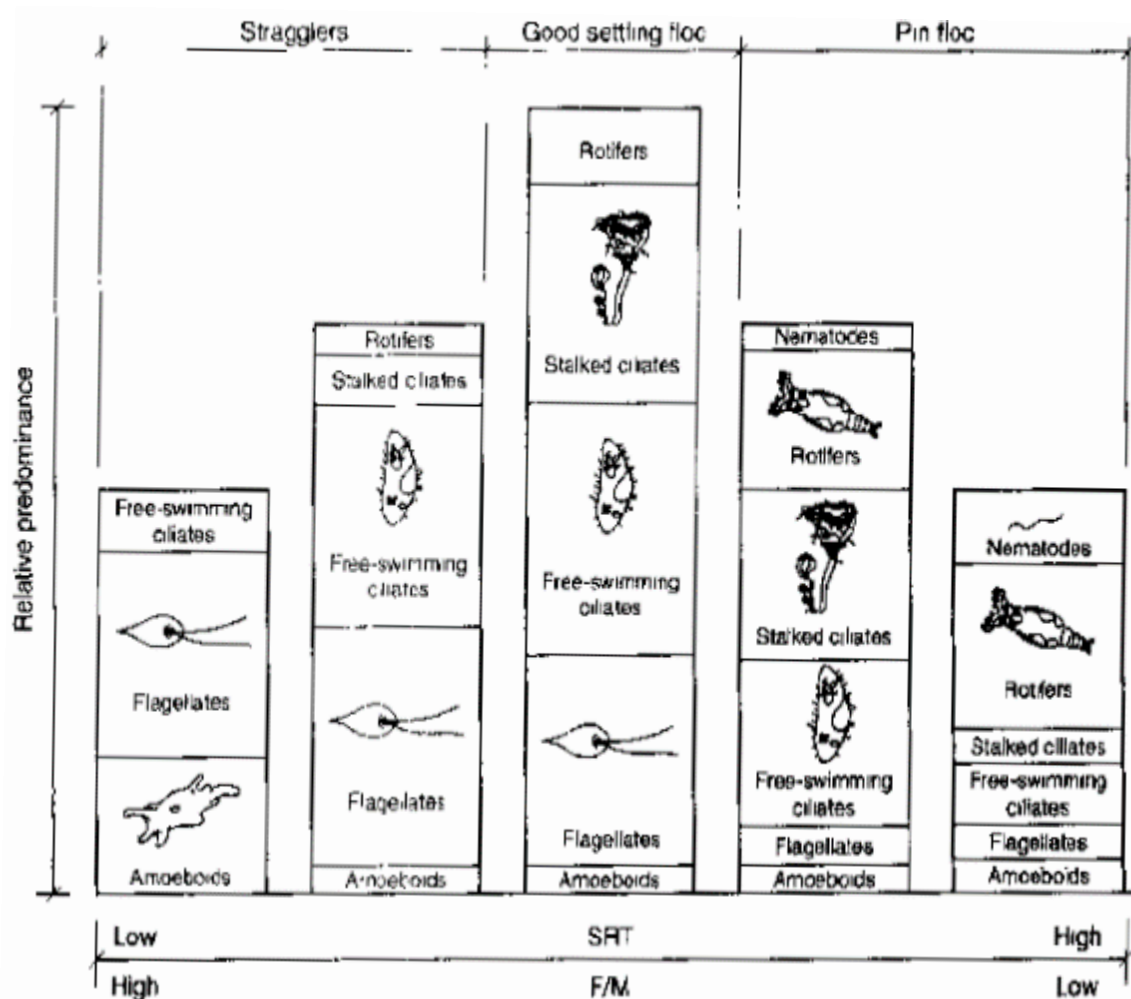


Figura 2.10 – Predominância de microrganismos versus taxa de F/M e TRS (Metcalf & Eddy, 2003)

Para estudo das características do afluente (água residual) são referidos os seguintes microrganismos:

- Decompositores;
- Consumidores;

Os microrganismos decompositores são compostos por bactérias heterotróficas, fungos e alguns protozoários. São os microrganismos responsáveis pela degradação bioquímica da matéria orgânica presente no afluente. O seu crescimento depende da qualidade e quantidade da matéria orgânica dissolvida no licor misto.

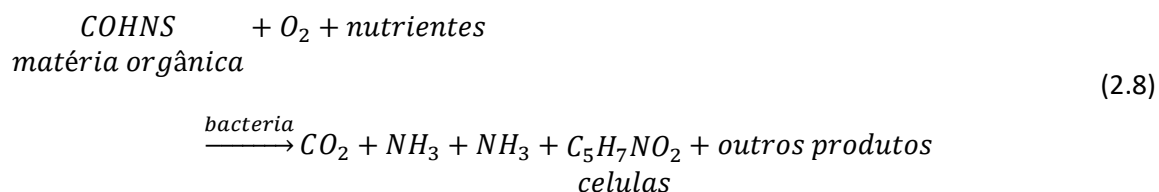
O grupo de consumidores é composto por protozoários e metazoários que se alimentam das bactérias e protozoários do grupo de decompositores, que ajudam a manter a balança de microrganismos/alimento (relação F/M) e apenas dependem da quantidade de bactérias disponíveis no licor misto. Segundo Metcalf & Eddy (2003):

Bactérias heterotróficas: que se podem encontrar na matéria orgânica, ajudam a formar biologicamente flocos que, a partir da decantação/sedimentação, permitem a separação líquida/sólida e representam a maior fatia de microrganismos da comunidade complexa microbiana presente no sistema de tratamento. Os fatores que influenciam o seu crescimento são: (i) temperatura, (ii) OD, (iii) concentração de nutrientes (iv) pH, (v) taxa F/M.

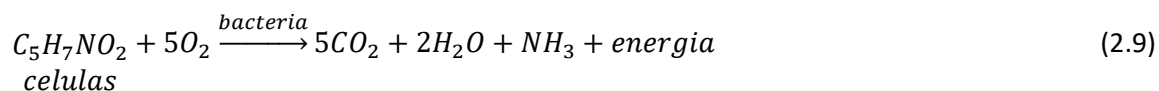
Protozoários: são microrganismos que se alimentam de bactérias em excesso permitindo manter um balanço correto e eficiente de bactérias para o processo biológico. Os protozoários requerem TRS mais altos que as bactérias anteriormente faladas e mantêm-se vitais em níveis OD acima de 1,0 mg/l. Têm dimensões maiores do que as das bactérias pelo se torna possível a sua alimentação a partir destas, a sua principal função no tratamento de águas residuais. Podem também contribuir na remoção da matéria orgânica, através da excreção de nutrientes que aumentam a atividade das restantes bactérias.

A degradação da matéria orgânica, como já dito anteriormente, é feita pela comunidade microbiológica presente no reator. As bactérias oxidam os resíduos para obter energia que lhes permita sintetizar as matérias orgânicas mais complexas e produzir novas células. A este processo dá-se o nome de metabolismo, às quais pertencem as seguintes fases: (i) oxidação e síntese, (ii) respiração endógena.

A oxidação e síntese dos microrganismos são dadas pela equação (2.8):



A respiração endógena dos microrganismos previamente explicada é dada pela equação (2.9):



2.5 PROCESSOS BIOLÓGICOS DE REMOÇÃO DE AZOTO

A presença de azoto na água residual prejudica o meio ambiente, a população e também o tratamento da mesma como anteriormente referido. Portanto, é necessária a sua remoção. A sua remoção é feita por redução do azoto a gás de azoto ou azoto amoniacal para a síntese de células. A remoção do nitrato ocorre por assimilação quando não há OD presente no tanque ou nitrificação seguida de desnitrificação (quando há níveis de OD suficientes para a sua ocorrência). A Figura 2.11 demonstra o processo de remoção de azoto pelos processos biológicos no tratamento. Nos pontos a seguir explica-se em detalhe em que consiste a nitrificação e desnitrificação.

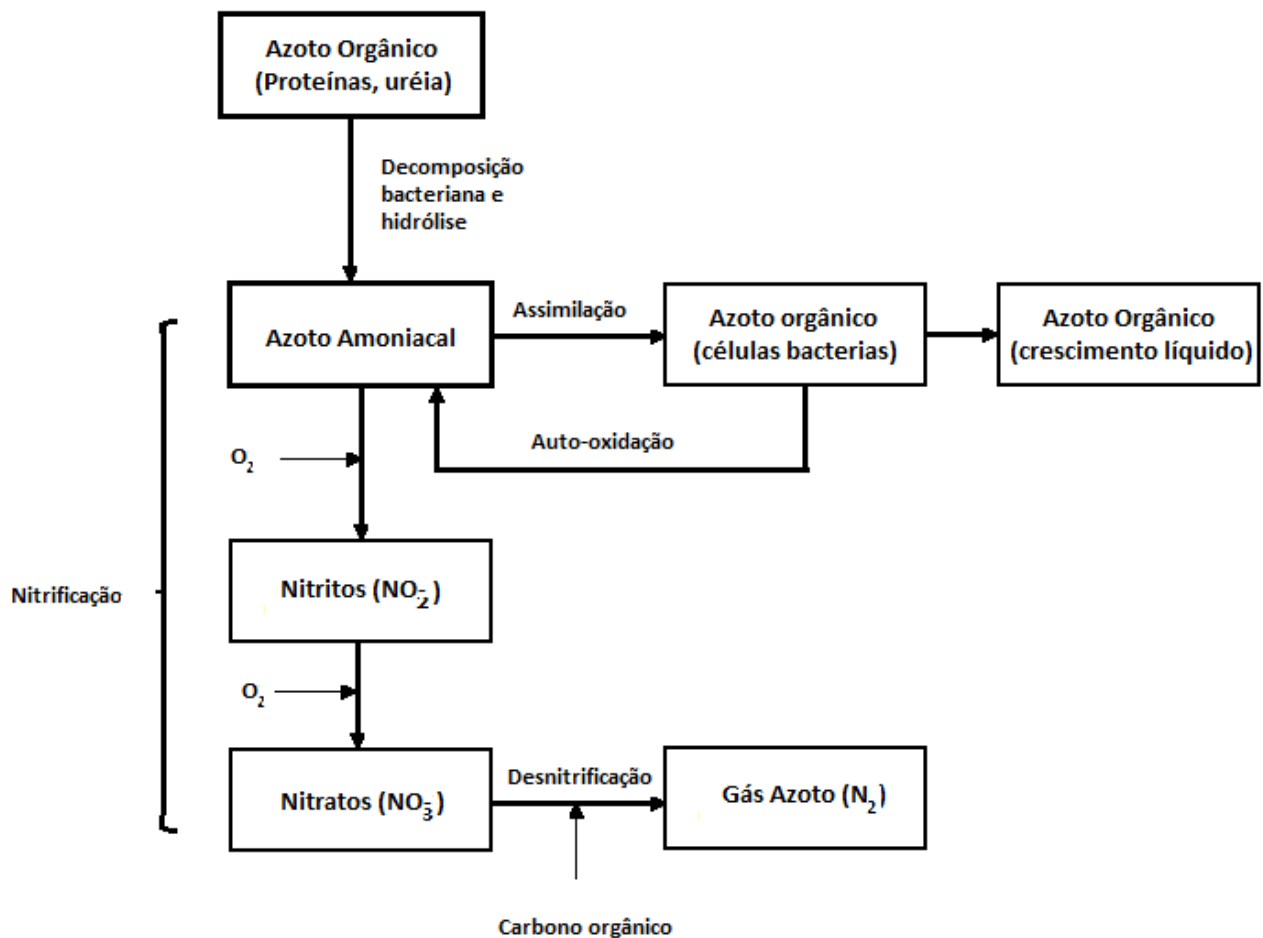


Figura 2.11 – Resumo dos processos biológicos (Metcalf & Eddy, 2003)

2.5.1 Nitrificação

A nitrificação, processo químico-biológico em que o NH_4^+ é oxidado a NO_3^- , aparece com o objetivo de colmatar problemas (Metcalf & Eddy, 2003) como:

- O efeito da amónia na água do meio recetor, nomeadamente no que toca às concentrações de OD e à toxicidade para as espécies piscícolas;
- Necessidade de remover o azoto para controlar a eutrofização (processos de produção biológica primária que prejudicam a qualidade da água);
- Necessidade de controlar o azoto para aplicações de reutilização de água, incluindo recarga de águas subterrâneas;

Nas zonas aeróbias, a oxidação biológica da amónia, nitrificação, ocorre por um processo químico-biológico de duas etapas, isto é, através de um grupo de bactérias (*Nitrossomas*) primeiramente é oxidado o azoto amoniacal que forma o nitrito e depois com a ajuda de outro grupo de bactérias (*Nitrobaccter*)

oxida para nitrato (Metcalf & Eddy, 2003), a fim de remover o azoto presente na água residual. Este processo ocorre, em conjunto com os demais processos biológicos, num sistema formado por um tanque de arejamento, decantador e um sistema de reciclagem de lamas, como apresentado na Figura 2.12:

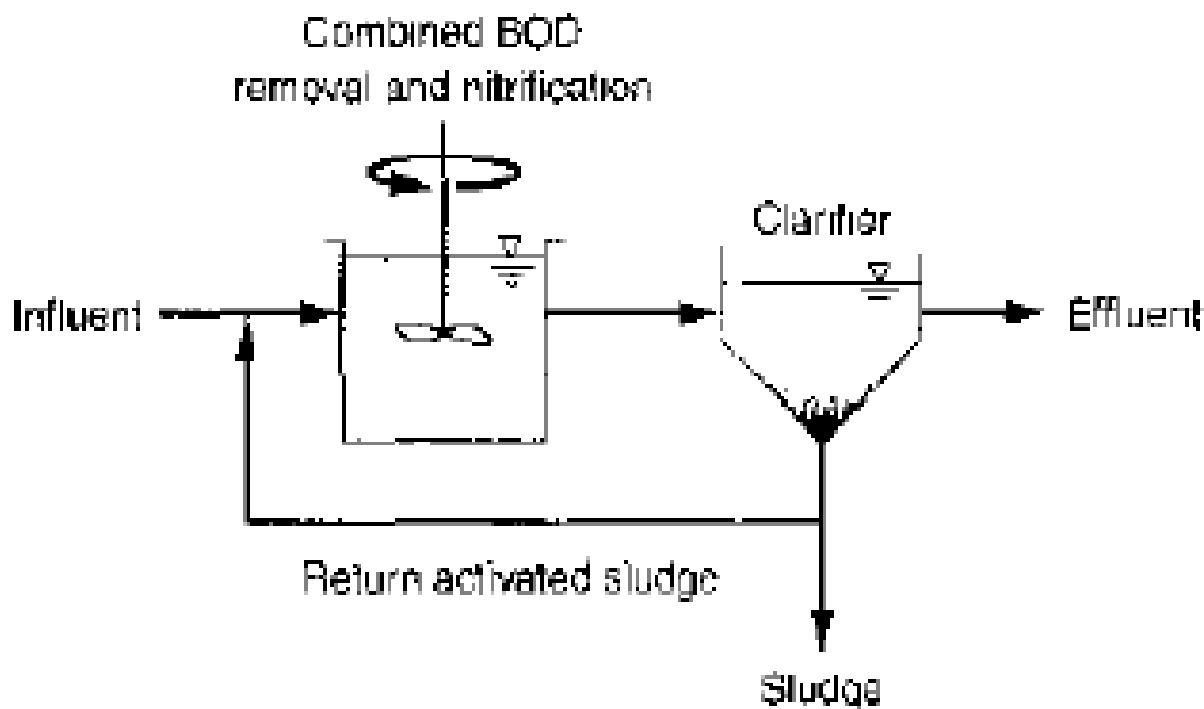
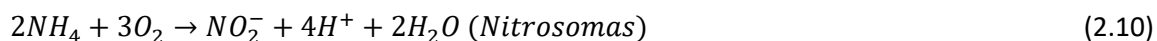


Figura 2.12 – Processo biológico de nitrificação (Metcalf & Eddy, 2003)

A conversão da amónia a nitritos (nitritação) corresponde à equação (2.10) e a passagem de nitritos a nitratos (nitratação) à equação (2.11) respetivamente:



Como se pode verificar, na primeira reação o NH_4^+ é oxidado a NO_2^- e depois na reação 2 a NO_3^- .

Para que o processo de nitrificação ocorra são gastos 4,57 g O_2 /g N, as necessidades teóricas de oxigénio, de acordo com a equação (2.12):

$$\frac{\text{kg O}_2}{\text{kg NH}_4\text{-N}} = \frac{M(2\text{O}_2)}{M(\text{N})} = \frac{4 \times M(\text{O})}{M(\text{N})} = \frac{4 \times 16,00}{14,01} = 4,57 \text{ g O}_2/\text{g N} \quad (2.12)$$

Existem no entanto problemas associados ao processo de nitrificação, tais como o facto de os grupos de bactérias anteriormente falados terem um crescimento mais lento do que os das bactérias heterotróficas, porque estes são autotróficos, ou seja, obtêm a energia que necessitam para o seu crescimento através da própria oxidação do azoto inorgânico (*nitrosomas* possuem uma taxa de crescimento de 0,5 por dia, enquanto a *nitrobacter* apresenta uma taxa de 0,8 por dia). Isto pode fazer com que não consigam fazer floculação e não fiquem no sistema de modo a completar o processo de nitrificação.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), deve-se:

- Aumentar o tempo de retenção hidráulico e de sólidos de modo a que sejam os necessários para permitir que as populações de bactérias do processo de nitrificação se desenvolvam para executar o processo e reajam com os resíduos existentes na água residual;

A nitrificação é influenciada e prejudicada ainda por outros fatores, tais como:

- Temperatura
- Alcalinidade
- OD

A influência destes parâmetros atinge o crescimento cinético das populações microbiológicas (Metcalf & Eddy, 2003). A oxidação de amónia cinética versus oxidação de nitritos cinética é limitante relativamente a temperaturas abaixo de 28°C.

Acima de 28°C, oxidação de amónia cinética versus oxidação de nitritos cinética já não é tão limitante pelo que deve ser considerada ambas. Isto acontece, porque a elevadas temperaturas ocorrem mudanças na oxidação de $\text{NO}_2^- \text{N}$ e $\text{NH}_4^+ \text{N}$ e $\text{NO}_2^- \text{N}$ acumula a baixos TRS.

A OD na nitrificação é influenciada pelo tamanho dos flocos das lamas ativadas e a CQO no licor misto. Os níveis baixo de OD (abaixo de 0,50 mg/l) inibem a nitrificação, afetando mais o crescimento das *Nitrobacter* do que as *Nitrosomas*, o que prejudica o processo de nitrificação tornando-o incompleto (há um aumento da concentração de $\text{NO}_2^- \text{N}$ no afluente (Metcalf & Eddy, 2003).

A nitrificação deve ocorrer num intervalo entre 7,5 e 8,0 de pH. O crescimento de bactérias nitrificantes é diminuído em 10 a 20% quando o pH se encontra abaixo deste intervalo (Metcalf & Eddy, 2003).

2.5.2 Desnitrificação

Ao contrário da nitrificação, que utiliza oxigénio de forma a controlar o azoto existente nas águas residuais, a desnitrificação recupera oxigénio para o mesmo objetivo. Este processo químico-biológico acontece pela redução do azoto, de nitrato a nitritos, nitritos a amónia e por fim, o resultado, de amónia a gás azoto equação (2.13):



Verifica-se a libertação de 2,8 g $\text{O}_2/\text{g N}$. O processo pode ocorrer por assimilação ou dissimilação. Na redução de nitrato associado à assimilação, o nitrato é usado depois na síntese do tecido celular, e apenas ocorre quando a amónia não está presente no tanque. Por outro lado, a redução de nitrato por dissimilação surge associada à cadeia de respiração endógena, em que os nitratos, ou nitritos são

utilizados como recetores de eletrões para a oxidação de uma variedade de compostos orgânicos e inorgânicos dadores, sendo o produto final, gás azoto, libertado para a atmosfera (Metcalf & Eddy, 2003). As bactérias que ajudam ao processo de desnitrificação podem ser heterotróficas ou autotróficas.

Os fatores que afetam a desnitrificação são: (i) OD, (ii) presença de nitratos e (iii) disponibilidade de MLSSV.

Os níveis de OD afetam a desnitrificação, porque quando estão em níveis inaceitáveis inibem o crescimento de nitratos. Quando os níveis de OD estão entre 0,2 e 0,3 mg/l a taxa de desnitrificação é reduzida em 50 %.

De realçar que quando há concentrações de OD abaixo de 0,13 mg/l a desnitrificação não ocorre no tanque anóxico.

A influência pela presença de nitratos no afluente na desnitrificação e da disponibilidade de MLSSV aumentam ou diminuem a taxa de desnitrificação pelas suas maiores ou menores presenças, respetivamente.

2.6 PARÂMETROS DE CONTROLO

Como anteriormente referido o tratamento de águas residuais permite desinfetar as águas previamente afetadas pelo uso humano e industrial. As ETAR criam condições que permitem (Decreto Lei n.º236/98):

- Que o efluente de descarga apresente qualidade exigida;
- Reduzir a possibilidade de risco à saúde pública das populações servidas;
- Proteger o meio aquático, reduzindo os níveis de poluição;

Para regular estas condições são implementados parâmetros de controlo que são verificados de forma regular e constante. Esses parâmetros traduzem-se em níveis de Exigência de qualidade na água e definição de Limites aos valores de emissão das águas residuais na descarga para o meio recetor.

O Decreto - Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto é relativo a normas de qualidade para proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das água, ou seja, neste decreto e de forma específica para as águas residuais urbanas, estão estabelecidas normas e critérios relativos à qualidade do efluente final após o tratamento com a finalidade de melhorar o estado de qualidade das águas que o vão receber e salvaguardando a saúde pública. São também contempladas nesta norma as descargas de águas residuais na água e no solo, promovendo igualmente a proteção do solo. Define-se ainda neste decreto a entidade reguladora e planos de ação e gestão para cumprimento dos objetivos estabelecidos para quando há desvio dos objetivos.

Os valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais impostos são apresentados no Quadro 2.6:

Quadro 2.6 – Principais VLE na descarga de águas residuais (Decreto - Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, Anexo XVIII)

Parâmetros	Expressão dos resultados	Valores Limite de emissão
pH	Escala de Sorensen	6,0-9,0
Temperatura	°C	Aumento de 3 °C
CBO ₅ , 20 °C	mg/l O ₂	40
CQO	mg/l O ₂	150
SST	mg/l	60
Alumínio	mg/l Al	10
Ferro total	mg/l Fe	2,0
Manganês total	mg/l Mn	2,0
Cheiro	-	Não detetável na diluição 1:20
Cor	-	Não visível na diluição 1:20
Cloro residual disponível total	mg/l Cl ₂	1,0
Sulfuretos	mg/l S	1,0
Sulfitos	mg/l SO ₃	1,0
Sulfatos	mg/l SO ₄	2000
Fósforo total	mg/l P	10 3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	10
Azoto total	mg/l N	15
Nitratos	mg/l NO ₃	50
Chumbo total	mg/l Pb	1,0
Crómio total	mg/l Cr	2,0
Mercúrio total	mg/l Hg	0,05
Óleos e gorduras	mg/l	15

As águas residuais urbanas são ainda reguladas pelo Decreto - Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, posteriormente alterado e complementado por: Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de novembro, Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de junho e Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de outubro, transpondo para o direito interno a Diretiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de maio, relativamente ao tratamento de águas

residuais urbanas. Estes documentos legais definem os critérios de qualidade a que a descarga dos sistemas de drenagem pública de águas residuais deve obedecer, nomeadamente nos meios aquáticos sensíveis.

Os requisitos a que obedecem as descargas das ETAR segundo os artigos 5º e 6º do mesmo decreto estão apresentados no Quadro 2.7, onde se pode verificar os valores mínimos de concentração ou percentagem de redução mínima impostos para as descargas efetuadas, segundo os dois tipos de zonas recetores:

Quadro 2.7 – Principais requisitos para descargas de águas residuais, segundo o tipo de zona do receptor (Decreto de Lei n.º152/97 de 19 de Junho, APA)

Classificação de zona	Parâmetro da carga poluente	Concentração	Percentagem mínima de redução (%)
Zona Sensível	CBO ₅ a 20 °C sem nitrificação	25 mg/l O ₂	70-90
	CQO	125 mg/l O ₂	75
	SST	35 mg/l	90
	Fósforo total	2 mg/l	80
	Azoto total	15 mg/l	70-80
Zona menos sensível	Não obrigada a cumprimento da concentração acima exigidas. É apenas exigido que a descarga de água residual satisfaça as percentagens mínimas de redução definida.		

2.7 TRANSFERÊNCIA DE OXIGÉNIO

Para que os microrganismos possam levar a cabo o processo de degradação de matéria orgânica será, então, necessário assegurar a injeção de oxigénio nos volumes de água residual a tratar. Permitirá a oxidação, síntese e respiração dos microrganismos.

Portanto, o oxigénio assume um papel muito importante no tratamento secundário e consequentemente no tratamento da água residual, tornando-se mesmo condicionante para a eficiência do tratamento. Devido à importância que este representa no tratamento é, também, necessário verificar e analisar os níveis de transferência de oxigénio a assegurar. Esta transferência pode ser possibilitada através da injeção de pequenas bolhas de ar na água residual ou, em alternativa, expondo a água residual ao ar, através de mecanismos de agitação.

Deve ser, ainda, assegurada a circulação da água residual em todo o tanque, o que aumenta o contato das bactérias com a matéria orgânica e nutrientes facilitando a sua eliminação.

A típica variação da curva desta transferência em função da injeção de ar pode ser observada na Figura 2.13.

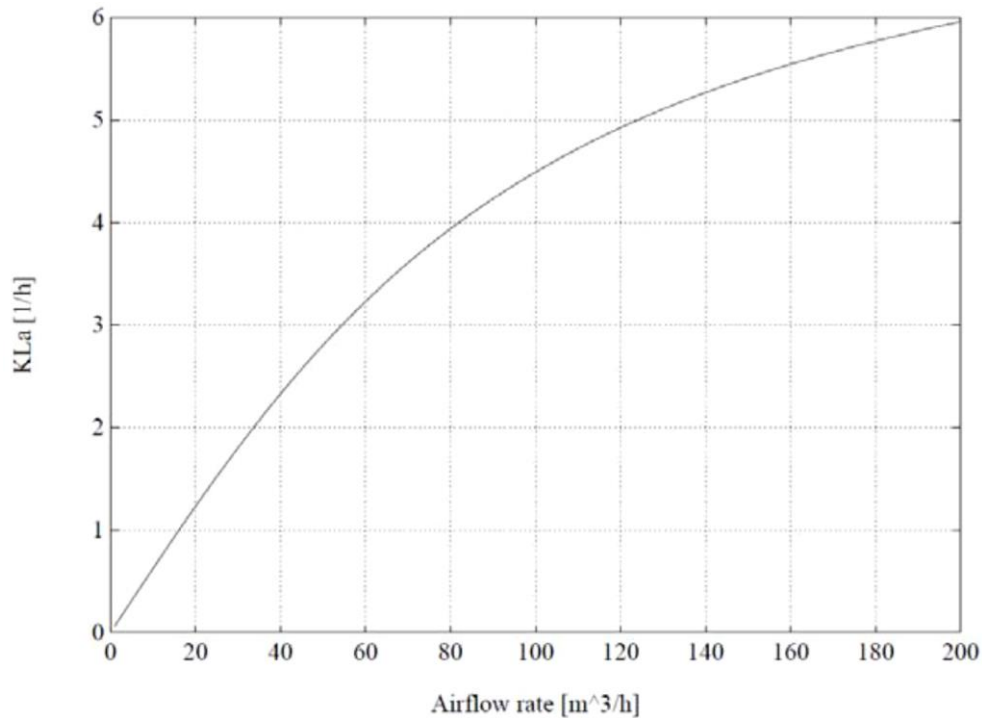


Figura 2.13 – Típica variação de K_La em função da taxa de fluxo de ar introduzida (Larsson, 2011)

A taxa de OD deve ser mantida entre 1,5 a 2 mg/L em todo o tanque para que os microrganismos procedam à oxidação da matéria orgânica. Se as concentrações de OD estiverem acima de 2,0 mg/l é possível que ocorra a nitrificação (se taxas de CBO altas). Abaixo de 2,0 mg/l já foram anteriormente referidos os problemas que podem acontecer. Acima de 4,0 mg/l, a eficiência de arejamento não melhora e os custos energéticos aumentam consideravelmente (Metcalf & Eddy, 2003).

O coeficiente da transferência de oxigénio sujeito ao consumo dos microrganismos em águas residuais é determinado a partir da expressão (2.14):

$$\frac{dC}{dt} = K_La \times (C_s - C) - r_M \quad (2.14)$$

onde:

dC/dt — variação da concentração de oxigénio ao longo do tempo;

K_La — coeficiente de transferência de massa de O_2 ;

C_s — concentração de oxigénio dissolvido (OD_s) em equilíbrio (mg/l);

C — concentração do oxigénio dissolvido (OD) numa solução líquida ou reator (mg/l);

r_M — taxa de oxigénio usado pelos microrganismos;

Considerando que a concentração de oxigénio se mantém constante ao longo do tempo, o coeficiente de transferência de O_2 pode ser descrito pela fórmula simplificada, na equação (2.15):

$$K_L a = \frac{r_M}{C_s - C} \quad (2.15)$$

A transferência de oxigénio traduz-se pela diferença entre a concentração de oxigénio máxima, correspondente ao ponto de equilíbrio, e o nível de oxigénio dissolvido no líquido por unidade de tempo. O valor r_m refere-se ao consumo de OD feito pelos microrganismos presente na água residual, ou seja, a taxa de respiração. Portanto para que a eficiência desta transferência seja maior, há que tentar que o tanque tenha uma concentração de oxigénio dissolvido o mais próximo das necessidades de O_2 , ou seja, operar com nível de OD mínimo (Water Environment Federation, 2009).

Uma forma de aumentar a eficiência, é aumentar a área de superfície do difusor, o que provoca uma maior troca de oxigénio (Water Environment Federation, 2009). Isso pode ocorrer, aumentando o número de difusores ou o diâmetro do difusor, diminuindo o diâmetro da bolha de ar (Quadro 2.8) e aumentando a profundidade à qual se coloca o difusor, isto é, ao libertar as bolhas de ar mais fundo permite que estas tenham mais tempo de crescimento antes de atingir a superfície e, portanto, maior contacto ar/matéria orgânica.

Quadro 2.8 – Taxa de área/volume para bolha grosseira e fina (Larsson, 2011)

Tipo de bolha	Diâmetro típico (m)	Área de superfície (m ²)	Volume (m ³)	Área específica de superfície (m ² /m ³)
Grosseira (<i>Coarse</i>)	0,01	$1,26 \times 10^{-3}$	$4,19 \times 10^{-6}$	300
Fina	0,001	$1,26 \times 10^{-5}$	$4,19 \times 10^{-9}$	3000

Outra forma de aumentar a eficiência de arejamento pode ser também a agitação criada pelos mecanismos de arejamento que provocam deslocamento entre partículas e posterior degradação. Mas a taxa de eficiência atingida por este tipo de mecanismos é menor do que a atingida com difusores.

É, portanto, necessário controlar a transferência de oxigénio de forma a reduzir os custos de operações em prol da maior eficiência energética com menores custos.

Há, no entanto, certos fatores que devem ser tidos em conta no controlo da transferência de oxigénio (Metcalf & Eddy, 2003), tais como:

- Temperatura;
- Intensidade de mistura (turbulência, área de transferência);
- Geometria do tanque de arejamento;
- Profundidade e localização dos difusores;
- Características da água (presença de componentes orgânicos);

Em relação ao primeiro fator, a temperatura, verifica-se que a necessidade de correção do coeficiente K_La , em relação à temperatura padrão de 20°C poderá ser determinada pela seguinte equação (2.16):

$$K_La_{(T)} = K_La_{(20^\circ C)} \cdot \theta^{T-20} \leftrightarrow f_t = \frac{K_La_{(T)}}{K_La_{(20^\circ C)}} = \theta^{T-20} \quad (2.16)$$

onde:

$K_La_{(T)}$ — coeficiente de transferência de massa de oxigênio à temperatura T (s);

$K_La_{(20^\circ C)}$ — coeficiente de transferência de massa de oxigênio a 20 °C (s);

θ — constante variável dependendo do sistema em que está imposto;

Após vários testes (Metcalf & Eddy, 2003), é possível verificar que os valores para os quais θ varia, estão entre 1,015 e 1,040. Um valor intermédio de 1,024 poderá ser utilizado, quer para sistemas de difusores, quer para sistemas de arejadores mecânicos de superfície. O que se pode depreender é que a temperatura afeta a velocidade de transferência de oxigênio em contato com a água.

Em relação à intensidade de mistura e a geometria do tanque, é necessário definir um fator (α) de correção que relacione o coeficiente de transferência de oxigênio em água limpa com idêntico coeficiente que incorpore as características de água residual, intensidade da mistura e geometria de tanque do sistema atual (equação (2.17)):

$$\alpha = \frac{K_La \text{ (água residual)}}{K_La \text{ (água limpa)}} \quad (2.17)$$

Os valores de “ α ”, fator de correção, variam entre 0,3 e 1,2, sendo que para equipamentos de arejamento mecânicos encontram-se entre 0,6 e 1,2 e por difusores, no fundo do tanque, entre 0,4 e 0,8 (Metcalf & Eddy, 2003).

Ainda em relação às características da água residual existe outro fator de correção a aplicar, “ β ”. Este valor é importante para corrigir a transferência de oxigênio para diferenças na solubilidade do oxigênio na presença de substâncias como sais, particulados, etc. (Metcalf & Eddy, 2003), possibilitando um ajuste da concentração de saturação (C_s).

Na equação (2.18) a seguir, propõe-se a equação que expressa esse fator:

$$\beta = \frac{C_s \text{ (água residual)}}{C_L \text{ (água limpa)}} \quad (2.18)$$

Este fator varia entre 0,7 e 0,98, sendo que, normalmente, para as águas residuais urbanas se considera normalmente o valor de 0,95.

O fator θ , também é um fator de correção, para a condição de temperatura padrão (20°C), corrigindo o K_La e é determinado através da equação (2.19):

$$\theta^{(t-20)} = \frac{K_L a_t}{K_L a_{20}} \quad (2.19)$$

2.7.1 Oxigénio atual requerido (OTR)

O oxigénio atual requerido (OTR - *Oxygen Transfer rate*) define-se pelas necessidades de oxigénio que ocorrem aquando do processo de tratamento segundo as condições em que opera (Larsson, 2011). Esse parâmetro é determinado pela equação (2.20) (Metcalf & Eddy, 2003):

$$\begin{aligned} OTR = & \\ & + \text{Necessidades } O_2 \text{ na remoção de sólidos} \\ & + \text{Necessidades } O_2 \text{ por gasto biomassa} \\ & \left(\begin{array}{l} \text{SSV gasta por dia; biomassa ativa;} \\ \text{detritos células devido ao crescimento} \end{array} \right) \\ & + \text{Necessidades } O_2 \text{ nitrificação} \\ & - \text{Necessidades } O_2 \text{ desnitrificação} \end{aligned} \quad (2.20)$$

onde:

OTR — oxigénio atual requerido (kg O₂/h);

Necessidades O₂ — necessidades de oxigénio que ocorrem durante o processo de tratamento (kg O₂/h);

2.7.2 Correção da taxa de transferência de oxigénio em sistemas de difusores (SOTR)

A taxa de transferência de oxigénio atual requerido (OTR) em condições específicas, padrão, tais como, temperatura de água a 20°C e concentração de oxigénio dissolvido igual a zero em água limpa, corrigida, designa-se por *Standard Oxygen Transfer Rate* (SOTR) (Metcalf & Eddy). Estes valores, que se encontram normalmente tabelados em função das características do tanque de arejamento e sistemas de difusores, em água limpa, terão, todavia, que ser devidamente corrigidos para representação da taxa real de transferência de oxigénio no sistema atual.

A equação (2.21) que permite determinar o valor é expressa por (Metcalf & Eddy, 2003):

$$SOTR = \frac{OTR \times CS_{20}}{\alpha \times F \times (\beta \times C_{STHr} - C)} \quad (2.21)$$

onde:

SOTR — taxa de transferência de oxigénio *standard* (kg O₂/h);

F — K_L água residual de um difusor depois de algum tempo / K_L água residual por um difusor novo, fator fouling (colmatção dos difusores $F \leq 1,0$);

$CSTH_r$ — nível de saturação *standard* de O_2 à Temperatura T e altitude H (mg/l);

CS_{20} — nível de saturação *standard* de O_2 a $20^\circ C$ (mg/l);

C — concentração de oxigénio dissolvido de água residual (mg/l);

2.7.3 Eficiência de arejamento *standard* (SAE)

Por outro lado, a eficiência de arejamento, em condições *standard*, é dada pelo parâmetro SAE (*Standard Aeration Efficiency*) que corresponde a uma medida de transferência de oxigénio por unidade de energia consumida (kg O_2 /kWh):

$$SAE = \frac{SOTR}{P_{input}} \quad (2.22)$$

onde:

SAE — Eficiência de arejamento *standard* (kg O_2 /kWh);

P_{input} — potência de alimentação (Ex: sobrepessor) (kWh);

2.7.4 Eficiência de transferência de oxigénio *standard* (SOTE)

Os níveis de eficiência serão tanto mais elevados quanto menores forem os níveis de oxigénio dissolvido residual (máximo para o valor 0 mg/l), pelo que será fundamental manter os níveis de oxigénio residual o mais reduzidos possível, sem afetar o processo de tratamento (Figura 2.14). Refira-se, ainda que, o parâmetro SOTE corresponde à eficiência de transferência de oxigénio para as condições normais ($T=20^\circ C$, $P=1$ atm, etc.) e água limpa, que serve, habitualmente, para avaliação e comparação de diferentes sistemas de arejamento, sendo definido pela equação (2.23) a seguir:

$$SOTE = \frac{SOTR}{W_{O_2}} \quad (2.23)$$

Sendo SOTR a taxa de transferência de oxigénio em condições *standard* para um difusor novo (kg O_2 /h), em água limpa, e $W_{(O_2)}$ o caudal mássico de oxigénio no caudal de ar fornecido ao sistema (kg O_2 /h).

Por sua vez o caudal mássico de oxigénio no ar é determinado pela equação (2.24) a seguir:

$$W_{O_2} = \rho_{air} \times [O_2] \times Q_{air} \quad (2.24)$$

onde:

ρ_{air} — densidade do ar (kg/m³);

[O₂] — concentração mássica de oxigénio no ar (%);

Q_{air} — caudal de ar fornecido ao sistema (m³/dia);

Standard oxygen transfer efficiency, SOTE

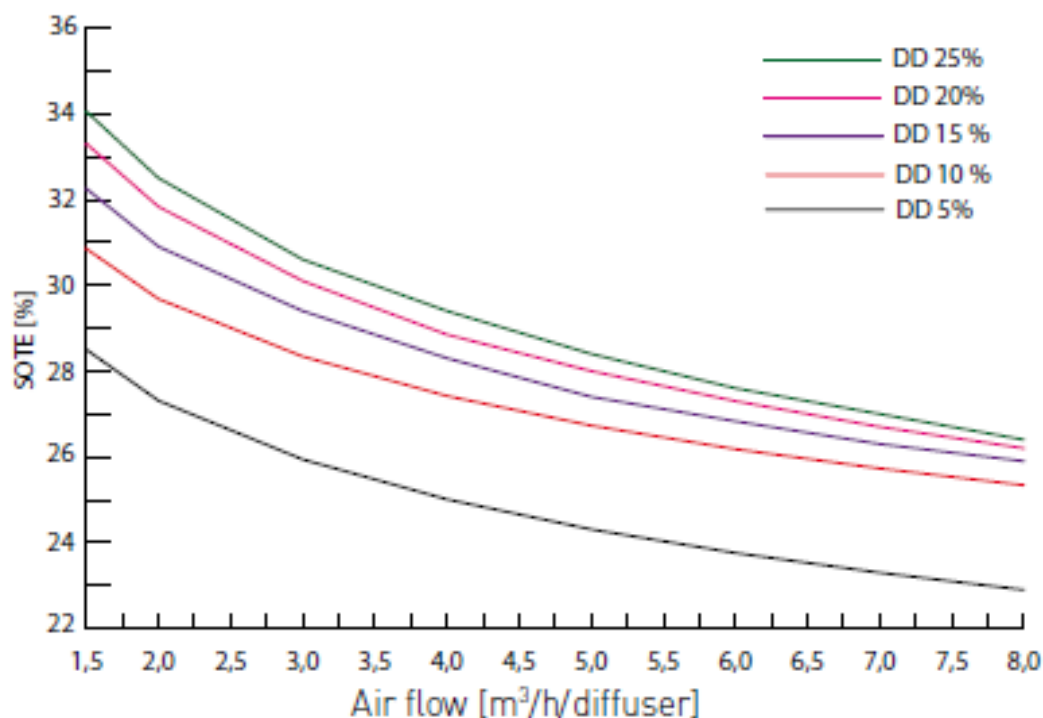


Figura 2.14 – Curva típica da SOTE para difusores (Sulzer, 2012)

2.8 APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE AREJAMENTO NUMA ETAR

De acordo com Water Environment Federation (2009), os sistemas de arejamento localizam-se no tratamento secundário e podem ser de tanque aberto ou fechado. Nestes tanques, seja qual for o seu tipo, o oxigénio é libertado/injetado continuamente de modo a que este se misture com a água residual, o que permite o fornecimento de nutrientes aos microrganismos para a sua respiração e posterior alimentação, mantendo os agentes microbiológicos num estado de suspensão. Por vezes, as lamas resultantes passam para o decantador secundário onde a lama é retirada por sedimentação, tal como na decantação primária. Parte da lama volta ao tanque de arejamento, de forma a devolver microrganismos ao tanque e continuar o ciclo de tratamento da água.

Os tanques de arejamento devem ser quadrados ou retangulares contendo um sistema de arejamento que garanta a melhor difusão e mistura do oxigénio e nutrientes com os microrganismos e matéria residual. A profundidade também deve ser tida em conta.

Os sistemas de arejamento aplicados, detalhados, devem ser dimensionados para que o nível mínimo de OD residual no tanque seja na ordem dos 2 mg/l, de acordo com o referido anteriormente (Metcalf & Eddy, 2003). Por outro lado, refira-se que deverá ser possível fazer a prevenção do arejamento excessivo, de forma a reduzir custos energéticos, e identificar os níveis mínimos e máximos exigidos de oxigénio durante certos períodos de tempo.

2.8.1 Tipos de sistemas de arejamento

O oxigénio pode ser introduzido nos tanques de arejamento de dois modos diferentes:

1. À superfície, a água é exposta ao ar e os mecanismos induzem correntes através de agitação, que introduz assim ar vindo da atmosfera. O equipamento é total ou parcialmente submerso. O equipamento mecânico pode ser:
 - Baixa velocidade
 - Alta velocidade
 - Discos de ar
 - Aspiradores
 - Escovas
2. Submerso, o oxigénio comprimido, proveniente da atmosfera, em bolhas de ar é injetado através de difusores, ou outros dispositivos, introduzidos no fundo do tanque.
 - Difusores (bolha fina ou bolha grosseira)
 - Sobrepressores
 - Turbinas borrifadoras
 - Misturadores de ar submersos
 - Tubos estáticos
 - Injeção de ar

Os sistemas mais usados são os sistemas submersos, sendo de realçar os sistemas de difusores, normalmente alimentados por sobrepressores.

Segundo Water Environment Federation (2009), nos sistemas de difusores no fundo dos tanques, o oxigénio é fornecido ao tanque através de bolhas de ar que são expelidas pelos difusores de ar colocados no fundo do tanque de arejamento.

Se o diâmetro da bolha é superior a 5 milímetro, trata-se de um difusor de *coarse-bubble* ou bolha grosseira (equipamento obsoleto, era usado nos anos 1950 a 1970), se o diâmetro for menor que 5 milímetro trata-se de um difusor de bolha fina, tipicamente o mais usado atualmente, por serem mais eficientes na transferência de oxigénio. A razão da escolha deste último incide então na eficiência pela

uniformidade do arejamento que este equipamento permite no tanque, misturando-se com praticamente toda a lama proveniente do tratamento anterior. Como a bolha é mais pequena, aumenta a superfície específica de contacto entre o ar e a água, permitindo uma melhor mistura e segregação do microrganismo com o oxigénio. Isto poderá resultar num decréscimo do custo de operações. Um aspeto negativo do difusor por bolha fina é que este é suscetível ao efeito do *fouling*. Esse fenómeno consiste em os microrganismos aderirem ao difusor o que diminui a sua eficiência.

No entanto, a variedade de características destes sistemas não se encontra só no tamanho da bolha, mas também na porosidade que o equipamento apresenta, o que pode resultar em diferentes eficiências de transferência de oxigénio (Metcalf & Eddy, 2003). As categorias de acordo com a porosidade dos difusores são apresentadas no Quadro 2.9 a seguir:

Quadro 2.9 – Categorias de difusores de ar mais usadas (Metcalf & Eddy, 2003)

Tipo de difusor	Eficiência da transferência	Descrição
Poroso		
Disco	Alta	Discos de cerâmicos rígidos montados nos tubos de distribuição de ar perto do fundo do tanque
Cúpula	Alta	Difusores cerâmicos em forma de cúpula montados nos tubos de distribuição de ar perto do fundo do tanque
Membrana	Alta	Membrana porosa flexível suportada no disco montado na grade de distribuição de ar
Painel	Muito alta	Painel retangular com uma membrana flexível de plástico perfurado
Não-poroso		
Orifício fixo		
Orifício	Baixa	Dispositivos normalmente construídos em plástico moldado e montados nos tubos de distribuição de ar
Tubo de fenda	Baixa	Tubos de aço inoxidável contendo perfurações para fornecer uma banda larga de ar difuso
Tubo Estático	Baixa	Tubo vertical fixo montado na parte inferior da bacia que funciona como uma bomba de transporte de ar

Os difusores porosos são os mais usados nas recentes ETAR (Metcalf & Eddy, 2003) pelas vantagens que apresentam na sua eficiência. Como referido anteriormente no quadro, estes difusores são montados em grelhas do sistema de alimentação de ar ao fundo do tanque, fornecendo ar através dos seus poros. Alguns exemplos destes difusores são apresentados nas Figura 2.15 e Figura 2.16 a seguir:

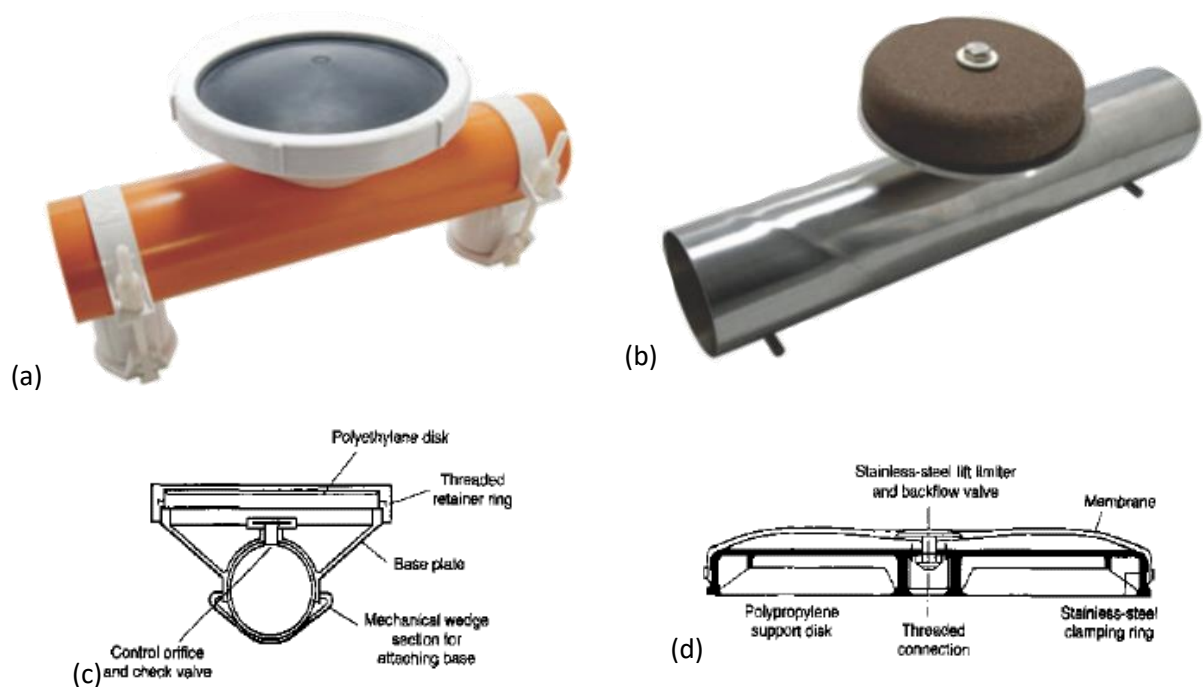


Figura 2.15 – Difusores de ar porosos típicos. (a) disco de alumínio oxidado. (b) Cúpula cerâmico. (c) disco polietileno. (d) membrana perfurada (bfdias.com & Metcalf & Eddy, 2003)

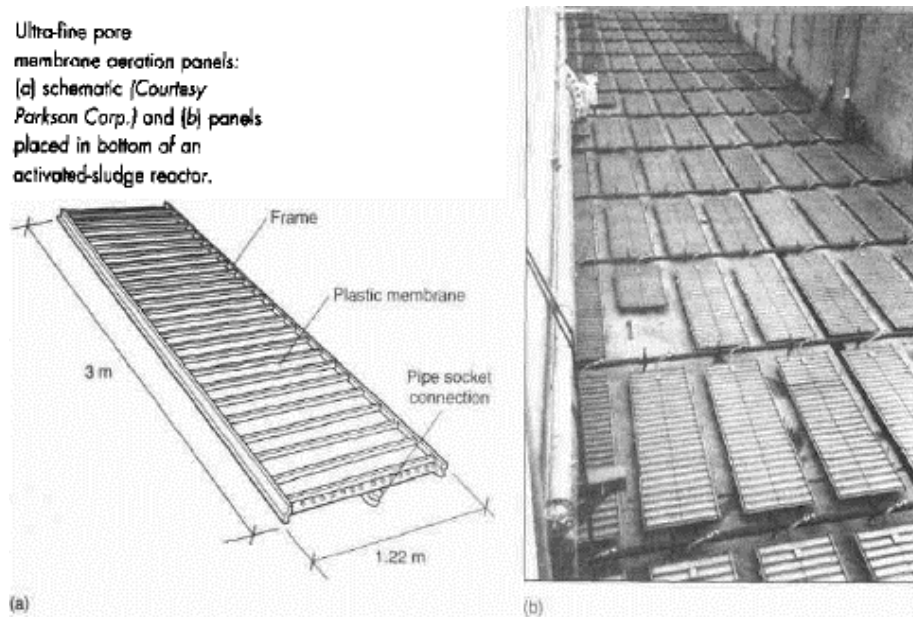


Figura 2.16 – Paineis de difusores de bolha fina (a) esquema de painéis de membrana de difusores bolha fina, (b) painéis de membrana de difusores de bolha fina instalados no tanque de arejamento de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2003)

O ar é emitido a partir das superfícies porosas dos equipamentos e em contacto com a água produzem bolhas de ar. As vantagens que este sistema permite é que como já anteriormente referido, as bolhas de ar finas são altamente eficientes na transferência de oxigénio e na eficiência de energia (pela capacidade

de reduzir energia pelo maior contato de ar-água), os painéis de membrana de difusores conseguem cobrir maior área da superfície do chão do tanque o que promove a facilidade de transferência e mistura de oxigênio. Os materiais usados são: plástico flexível, borracha e cerâmicos.

Os difusores não porosos diferem dos porosos por criarem bolhas de ar mais grosseiras (superiores a 5 mm) o que os tornam menos eficientes na transferência de oxigênio. A vantagem é que são mais baratos em relação aos primeiros e não requerem tanta manutenção. As montagens destes equipamentos são parecidas com as dos difusores porosos. Os tipos de difusores não porosos são apresentados na Figura 2.17 a seguir:

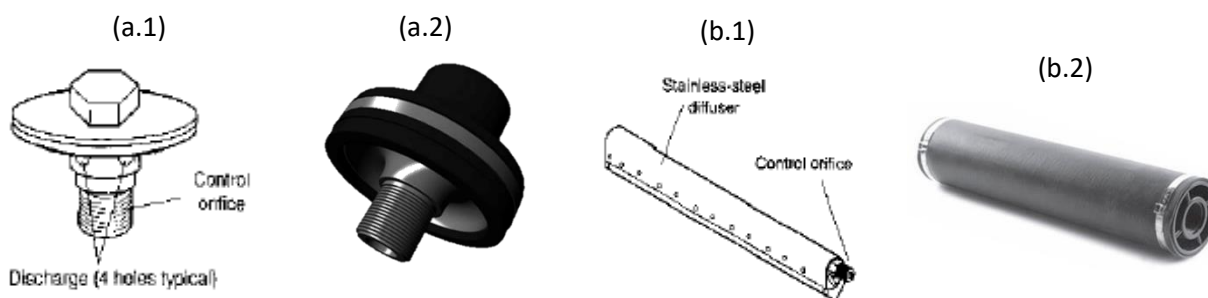


Figura 2.17 – Tipo de difusores não porosos. (a.1) esquema de orifício fixo (a.2) orifício fixo (b.1) esquema de tubo (b.2) tubo (Aquatec-Ecosystems, 2016 & Difusor, 2016 & Metcalf & Eddy, 2003)

Estes difusores permitem também fazer a floculação, digestão aeróbia o que se torna também uma vantagem e possível opção.

Os outros tipos de difusores existentes são apresentados na Figura 2.18 a seguir:

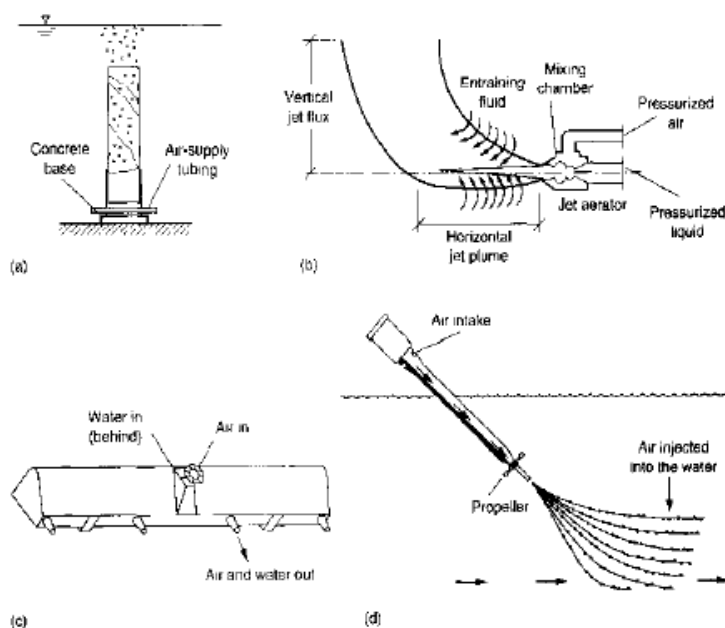


Figura 2.18 – Outros tipos de difusores (a) tubo estático (b) e (c) jet reator (d) arejador aspirador (Metcalf & Eddy, 2003)

No tubo estático (a) o ar é introduzido na base do arejador que contém elementos de mistura, estes tubos variam de 0,5 a 1,25 metros de altura. No jet reator (b) e (c) o ar pressurizado é misturado com líquido numa câmara de mistura. À medida que o jet é emitido, o líquido é arrastado para melhorar a transferência de oxigênio. Deve ser usado em tanques com profundidade > 8 metros. O arejador aspirador (d) consiste em a partir de uma bomba existente no equipamento aspirar o ar no tubo e injetá-lo diretamente debaixo de água o que cria uma turbulência e cria bolhas de ar.

A taxa de eficiência de transferência de oxigênio de cada tipo de sistema difusor de ar é apresentada no Quadro 2.10 a seguir:

Quadro 2.10 – Taxas de eficiência de transferência de oxigênio de diferentes difusores em águas limpas (Metcalf & Eddy, 2003)

Tipo de difusor	Taxa de fluxo de ar (m ³ /min)	Eficiência de transferência de oxigênio (%) para 4,5 m de profundidade
Discos cerâmicos - grelha	0.01-0.1	25-35
Cúpulas cerâmicos - grelha	0.015-0.07	27-37
Pratos cerâmicos – grelha	0.6-1.5	26-33
Tubos plásticos rígidos porosos		
Grelha	0.07-0.11	28-32
Rolo duplo espiral	0.08-0.3	17-28
Rolo simples espiral	-	13-25
Tubos plásticos porosos não-rígidos		
Grelha	0.03-0.2	26-36
Rolo simples espiral	0.06-0.2	19-37
Tubos de membranas perfuradas		
Grelha	0.03-0.11	22-29
“Quarter points”	0.6-0.17	19-24
Rolo simples espiral	0.6-0.17	15-19
Painéis membranas perfuradas	N/A	38-43
Jet arejamento		
“Side header”	1.5-8.5	15-24
Difusores não-porosos		
Rolo duplo espiral	0.1-0.28	12-13
“Midwidth”	0.12-1.25	10-13
Rolo simples espiral	0.28-1.0	9-12

Como pode ser observado, para a mesma profundidade a que está submerso cada tipo de difusor correspondem diferentes taxas de eficiência de oxigénio. Isto resulta pelo uso de diferentes materiais e sistemas o que provoca diferentes taxas de contacto bolha de ar-água e bolhas de ar. É possível verificar que os difusores que usam cerâmica como material apresentam maiores taxas de eficiência sendo que o melhor sistema são os painéis de membrana perfuradas. Outros fatores a ter em conta são também a localização, e o tamanho do equipamento. Sendo que o painel, como anteriormente referido, pode abranger uma maior superfície do tanque corresponde então uma maior transferência.

É aconselhável a periódica manutenção e limpeza dos sistemas, porque pode ocorrer um decréscimo da taxa de eficiência de oxigénio devido a impurezas do ar comprimido que vão ficando/alojando nos tubos e filtros e assim evitar o fenómeno do *fouling*.

Os sistemas sobrepessores são turbo-ventiladores conectados a uma tubagem que conduz o ar comprimido até aos difusores, submersos que injetam ar verticalmente nos tanques. Estes sistemas são mais adequados quando o tanque tem alturas reduzidas, pois há um limite de oxigénio que pode ser libertado pelo conjunto sobrepessor-difusor o que acarretaria num desperdício de energia gasto pela incapacidade de atingir níveis necessários de oxigénio-microrganismos em tanques com profundidades altas. O grupo sobrepessor mais motor funciona como uma bomba que cria uma corrente espiral de sentido ascendente quando é expelido pelo difusor. Os sobrepessores são necessários para que a compressão que criam, façam com que a pressão do ar dos difusores seja maior do que a pressão da água.

Existem três tipos de sobrepessores: (a) centrífugo, (b) equipamento de deslocamento positivo de lóbulos rotativos e (c) palhetas guia de entrada de ar difuso variável. Os tipos de sobrepessores são aplicados em diferentes situações. Sendo que nos primeiros o seu uso é adequado quando a capacidade de ar disponível é maior que 425 m³/min e pressões de descarga nominais que variam entre 48 a 62 kN/m². Os segundos são para pressões acima de 55 kN/m² e capacidades menores a 425 m³/min. Os terceiros adequam-se a variáveis pressões para uma constante capacidade.

Na Figura 2.19 são apresentados dois exemplos de sobrepessores anteriormente referidos:

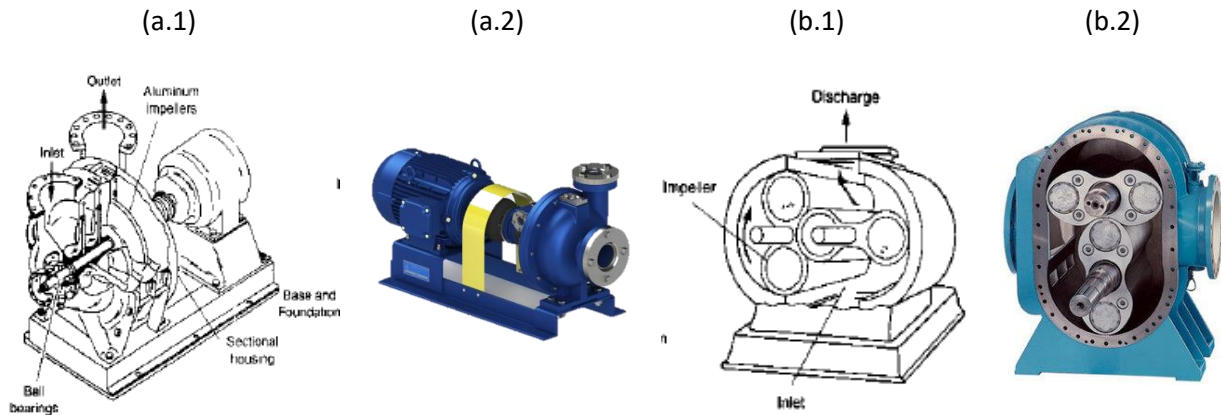


Figura 2.19 – Exemplo de sopradores: (a.1) esquema de soprador centrífugo (a.2) centrífugo (b.1) esquema de *equipamento de deslocamento positivo de lóbulos rotativos* (b.2) *equipamento de deslocamento positivo de lóbulos rotativos* (Frigostrella, 2016 & Metcalf & Eddy, 2003)

Os sopradores do tipo (a) centrífugos funcionam em ETAR que tenham uma taxa de fluxo de ar requerido alta com pressões baixas (Larsson, 2011). A característica principal destes sopradores é a maneira como o ar entra e sai. O ar de aspiração entra paralelo ao eixo e a sua saída é perpendicular ao eixo como se pode verificar na Figura 2.19 - (a.1).

Nos sopradores do tipo (b), lóbulos rotativos, o ar de aspiração entra no soprador (que funciona como uma câmara de transporte) com a rotação dos lóbulos (Figura 2.20), sem compressão interna, que isola, à medida que os lóbulos progridem a sua rotação o ar é transportado para a tubagem em equilíbrio com o lado da pressão (Larsson, 2011). Funcionam em pressões altas.

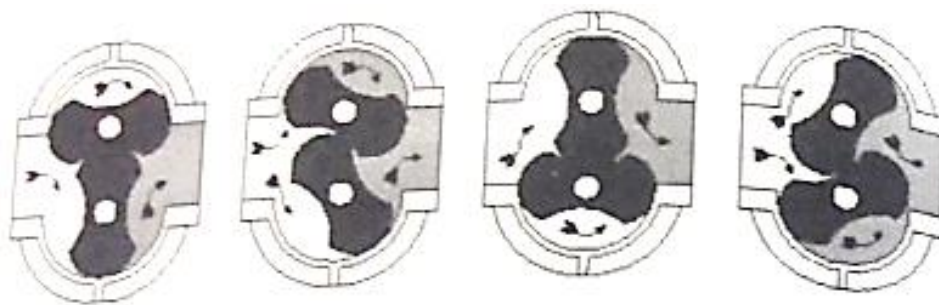


Figura 2.20 – Operação dos *equipamentos de deslocamento positivo de lóbulos rotativos* (Water Environment Federation, 2009)

Os arejadores mecânicos dividem-se em pás horizontais e pás verticais, que tanto podem estar submersos como à superfície. A agitação provocada pelas pás (tanto verticais como horizontais) permite o constante arejamento do tanque. Tanto nos de eixo horizontal como vertical, podem ser subdivididos em equipamentos submersos ou de superfície.

No Quadro 2.11 a seguir, é possível verificar as diferentes taxas de transferências de oxigênio consoante o tipo de arejador mecânico e velocidade:

Quadro 2.11 – Taxa de transferências de oxigênio para os diferentes tipos de arejadores mecânicos (Metcalf & Eddy, 2003)

Sistema de arejamento	Taxa de transferência (kg O ₂ /kWh)	
	<i>Standard</i>	<i>Field</i>
À superfície, baixa velocidade	1.5-2.1	0.7-1.5
À superfície, baixa velocidade com tubo de sucção	1.2-2.8	0.7-1.3
À superfície, alta velocidade	1.1-1.4	0.7-1.2
Submerso, turbina com tubo de sucção	1.2-2.0	0.6-1.1
Submerso, turbina	1.1-2.1	-
Submerso, turbina com borrifador	1.2-2.0	0.7-1.0
Rotor horizontal	1.5-2.1	0.5-1.1

Em condições *standard*: água da torneira, a 20 °C, a 100 kN/m² e oxigênio dissolvido inicialmente = 0 mg/l.

Em condições *field*: água residual, a 15 °C, altitude 1,50 m, oxigênio dissolvido = 2 mg/l

2.8.2 Comparação entre arejamento difuso e arejamento mecânico

Ambos os tipos de sistema de arejamento continuam a ser utilizados frequentemente e com taxas de eficiência elevadas. Mas segundo Tandoi et al. (2006), os sistemas de arejamento por difusores apresentam mais vantagens por permitirem o melhor contacto ar/bactérias/alimento.



Figura 2.21 – Arejamento provocado por pás verticais (sistema mecânico) (Tandoi et al. 2006)



Figura 2.22 – Arejamento provocado por bolhas de ar finas (sistema difuso) (Tandoi et al., 2006)

Como pode ser verificado nas figuras acima, as pás verticais (Figura 2.21) criam grande impacto pela sua velocidade o que não favorece tanto o eficiente contato entre o ar/alimento e bactérias a fim de formação de flocos de matéria orgânica quando comparado com o arejamento por bolhas de ar finas (Figura 2.22).

2.9 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CUSTOS NUMA ETAR

Como já foi referido, uma ETAR acarreta elevados custos energéticos relacionados com os tipos de procedimentos a usar para o tratamento de águas residuais (Metcalf & Eddy, 2003). Na Figura 2.23, é possível perceber a distribuição (em percentagem) da energia gasta nos procedimentos de uma ETAR comum.

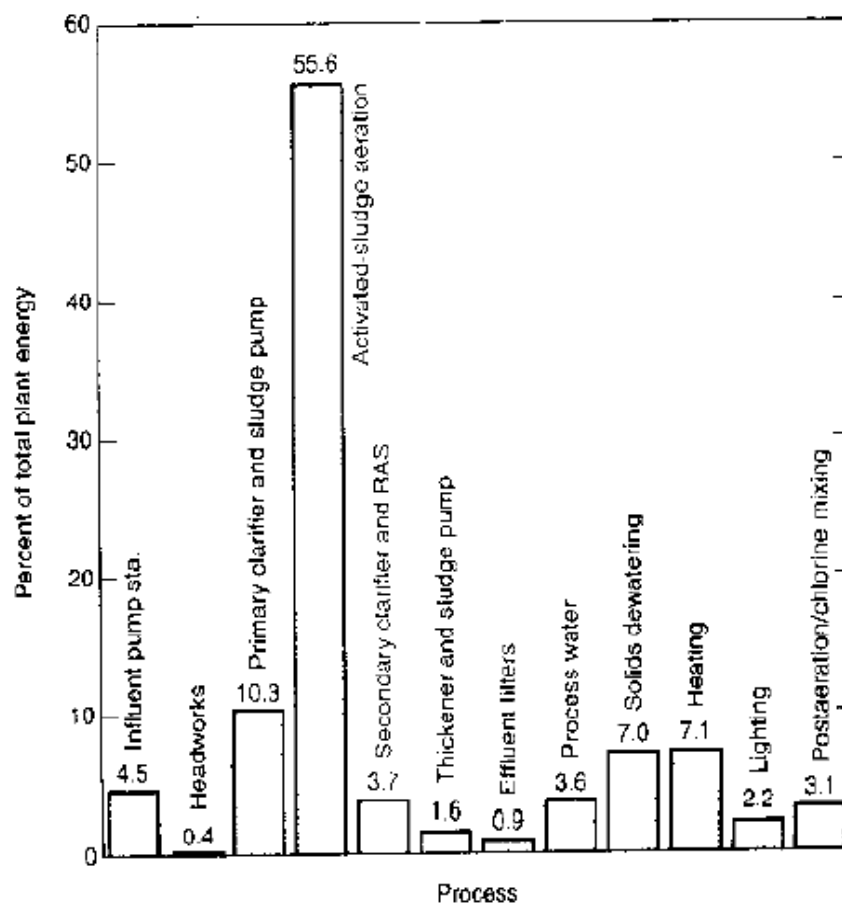


Figura 2.23 - Distribuição típica da energia gasta numa ETAR (Metcalf & Eddy, 2003)

Como se pode verificar, o procedimento de arejamento de lamas ativadas é que consome mais energia numa ETAR (precisamente o gasto em que este relatório se foca), sendo que representa mais de metade do consumo de energia.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), são gastos 1500 a 2800 MJ de eletricidade por 1000 m³ para o tratamento de lamas ativadas com nitrificação e filtração (Figura 2.24).

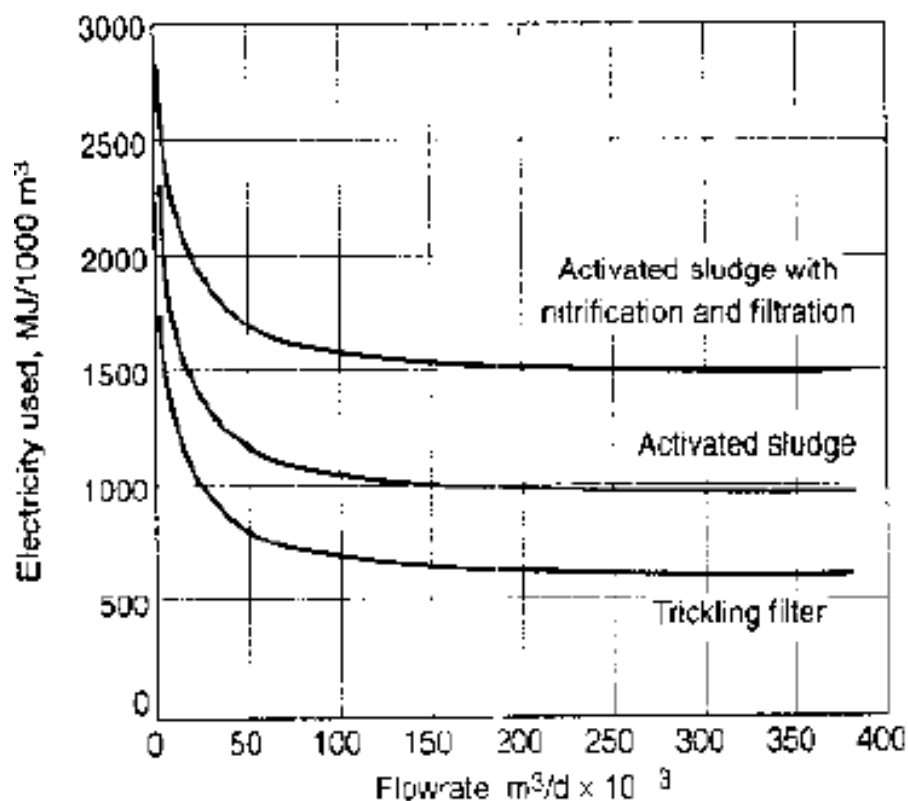


Figura 2.24 – Comparação de energia elétrica gasta (típica) para diferentes tipos de procedimentos de tratamento em função do fluxo (Metcalf & Eddy, 2003)

Uma das medidas para redução desses consumos é aplicar um sistema de gestão do funcionamento do sistema de arejamento (por ex.: usando sondas de medição dos níveis de OD e aplicando algoritmos de controlo automático), de forma a poder ajustar os níveis de oxigénio fornecidos ao sistema e, consequentemente, a energia consumida, às reais necessidades verificadas ao longo do dia. Outra medida passa por alterar os equipamentos se estes forem ineficientes para a situação em causa (Metcalf & Eddy, 2003), por exemplo, difusores de bolha fina têm maior eficiência do que de membranas. No Quadro 2.12, são descritos os impactos de energia no tratamento de água residuais das diferentes tecnologias. Quando melhorados os equipamentos por alteração dos mesmos ou controlo dos equipamentos pode aumentar (devido ao aumento do nível de tratamento) ou diminuir (alteração para equipamentos mais eficientes) o consumo de energia da ETAR (Metcalf & Eddy, 2003). Por exemplo o uso de difusores de bolha fina pode corresponder à diminuição na ordem dos 130 MJ por volume de água residual tratada, enquanto que pela implementação de novos equipamentos que permitem o aumento do nível de tratamento, como desinfecção da água residual, podem aumentar os consumos de energia em média 210 MJ por 1000 m³ no caso de membranas de microfiltração.

Quadro 2.12 – Impactos de energia nas tecnologias do tratamento de águas residuais

Tecnologia	Impacto de energia
	MJ/1000 m ³
Difusores bolha fina	-120 a -140
Difusores de bolha ultrafina	-170 a -210
Sistemas de controlo de OD (comparado com controlo manual)	-48 a -95
Sistemas de controlo do sobrepressor de eficiência energética, isto é, <i>palheta diretriz de entrada</i> , válvulas de borboleta de admissão, ou <i>drives</i> de velocidade ajustável	-48 a -140
Sobrepressores de arejamento de eficiência energética (comparado com sobrepressores de palheta diretriz de entrada)	-95 a -140
Membranas	
<i>Microfiltração</i>	+190 a +380
<i>Osmose reversa</i>	+950 a +1900

No Quadro 2.13, representa-se dois exemplos (Water Environment Federation, 2009) que mostram o impacto dos custos de implantação e operação do sistema de arejamento numa ETAR. Como se pode verificar normalmente o sistema de arejamento representa 1/5 parte dos custos de implantação da ETAR e também dos custos de operação anuais. No caso “Middlesex County Utilities Authority”, uma ETAR que data de 1974, após a melhoria do sistema 1995, a percentagem de gastos relativo ao arejamento também baixou de 19,5 % para 13 %, essa melhoria pode ter passado pela variação de potência dos sobrepressores, deteção dos fenómenos de colmatção dos filtros de ar nos sobrepressores.

Quadro 2.13 - Exemplos de custo de sistemas de arejamento (Water Environment Federation, 2009)

Nome da ETAR	Localização	Fluxo de ar de dimensionamento (m ³ /d)	Tipo de sistema de arejamento	Custos capital		Custos de operação anuais	
				Planta \$M (ano)	% arejamento	Planta \$M (ano)	% arejamento
Coney Island	Brooklyn, NY	378541	Difusor, bolha fina	650 (1990)	20	4,43 (1198)	20,1-25,5
Middlesex county Utilities Authority	Sayreville, NJ	556456	HO, Turbinas superfície	95,5 (1974)	19,3	16,4 (1197)	19,5 (antes melhoria)
				+8,9 (1995)	100	15,2 (1999)	13 (depois melhoria)

Mais detalhado são apresentados os casos: (i) Batesville no estado Arkansas, funcionava com difusores tubo estático para tratar 9070 Kg/d de CBO gastando 373 kW por cada um dos três difusor e 522 kW pelo sobrepressor existente. Para potenciar a otimização do sistema de arejamento foi alterado o sistema, pela

implantação de difusores de bolha fina e tubos de membrana flexível que passou a gastar 746 kW, resultando numa poupança de $5,63 \times 10^6$ kWh/ano, com retorno em menos de 3 anos (investimento de aproximadamente 1 milhão de dólares na melhoria do sistema). (ii) Beloit no estado de Wisconsin, que funcionava com 2600 difusores de discos cerâmicos em cada um dos quatro tanques de arejamento. Estes difusores tinham que funcionar com caudais de ar mínimos do difusor mas que não correspondiam ao mínimo para as necessidades de modo a manter uma performance funcional e evitar fenómenos de *fouling* e entrada de água residual nos equipamentos (devido à inexistência de válvulas de segurança nos difusores). Para otimizar o sistema de arejamento, a ETAR alterou o seu sistema de arejamento, trocando os difusores de discos cerâmicos para difusores de membrana, assim consegue poupar $6,53 \times 10^5$ kWh/ano devido à redução do arejamento por difusor (Water Environment Federation, 2009); (iii) no mesmo estado, na cidade de Palmyra, funcionava uma ETAR com capacidade $871 \text{ m}^3/\text{d}$ mas que não correspondia às necessidades atuais ($644 \text{ m}^3/\text{d}$). Foi feito um investimento que permitiu trocar os difusores de tubo estático por difusores de bolha-fina, difusores de tubo de membrana flexível que proporcionou a redução de 47000 kWh gastos por mês para 22000 kWh.

2.10 CONDIÇÕES BASE PARA DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS DE AREJAMENTO EM ETAR

As bactérias que segregam a matéria residual num floco concentrado, precisam de energia e oxigénio (nitrificação) para ajudar no seu crescimento e neste processo (Metcalf & Eddy, 2003).

Os fatores que perturbam o normal processo de tratamento de águas residuais denominam-se distúrbios, que se podem dividir em distúrbios externos ou internos (Metcalf & Eddy, 2003). Nos distúrbios internos encontram-se problemas operacionais como:

- Mudança das concentrações de nitrito e amónia que afetam o afluente;
- Distribuição diferente nas linhas de tratamento que afetam a carência de oxigénio, valores de SST;
- Mudança da taxa de lamas ativadas que afeta a carência de oxigénio e a massa de sólidos;

Os distúrbios externos são: (i) mudança de temperatura do licor misto, (ii) performance inconstante, (iii) equipamentos dimensionados incorretamente para os processos, (iv) variações constantes do afluente (Período: dia/noite) (v) número de população e indústrias que a ETAR serve (Metcalf & Eddy, 2003).

Há ainda vários fatores a ter em conta nestas operações no tratamento secundário, tais como: a relação F/M (referida anteriormente), o nível de arejamento, o nível de oxigénio necessário, e a forma e tamanho do tanque.

O número de habitantes e indústrias que uma ETAR serve tem influência pelo facto de mais pessoas e desperdícios industriais criarem mais água residual, sendo necessário que a estação de tratamento tenha dimensões maiores e também necessite de remover mais nutrientes para despoluir a água de forma a devolvê-la em condições adequadas ao meio recetor. Tem relação direta, por exemplo, com o valor de F/M, ou seja, quanto maior o número de habitantes e indústrias, mais matéria orgânica e mais nutrientes entram no sistema para remoção.

O valor de F/M, como anteriormente referido e explicado, deve ser o mais equilibrado possível por forma a otimizar a eficiência energética do sistema. Mas, para que este equilíbrio seja atendido, é também necessária a existência de níveis equilibrados de oxigénio, azoto, fósforo e carbono. O oxigénio é introduzido através dos sistemas de arejamento, seja difusor de bolha ou soprador. O valor de CBO deve ir diminuindo ao longo do tanque (passagem de tratamento secundário para terciário) e aumentando o volume de microrganismos que dão origem à produção de lamas. Este teor (CBO) representa o oxigénio que os microrganismos consomem para segregar a matéria orgânica existente na água. Mas o teor de CBO pode ser influenciado pela variação temporal, isto é, noite versus dia e dias quentes versus dias frios. A temperatura é um fator determinante nas necessidades de oxigénio, sendo que é necessário o fornecimento de níveis superiores de oxigénio para períodos de temperaturas mais elevadas, devido à menor eficiência na transferência de oxigénio com o aumento da temperatura.

Por esta razão, devem ser ajustados os níveis de oxigénio a introduzir no sistema de forma a não fornecer oxigénio a uma taxa de ritmo constante para o pico de necessidade mais alto (excesso de oxigénio-arejamento).

O dimensionamento de um sistema de arejamento a aplicar numa ETAR ou a análise do potencial de otimização de um sistema já existente, é feita pela análise às águas residuais que fluem pela mesma. Para tal é feita uma monitorização em que, além de controlar os níveis de oxigénio e eficiência do processo, é também verificado o cumprimento obrigatório da legislação imposta a uma ETAR.

Pela variação de microrganismos que passam ao longo do sistema e também pela alteração de quantidade que perturbam a eficiência do sistema que fazem com que seja necessário mudar o ambiente do sistema para manter a eficiência pretendida, é necessário fazer uma monitorização. Esta perturbação pode ainda ser causada pela variação de carga ao longo do dia.

É observado que há menor fluxo de água residual às primeiras horas da manhã onde se entende que o consumo de origem doméstica é menor, o que muda ao longo do dia até à noite (Figura 2.25).

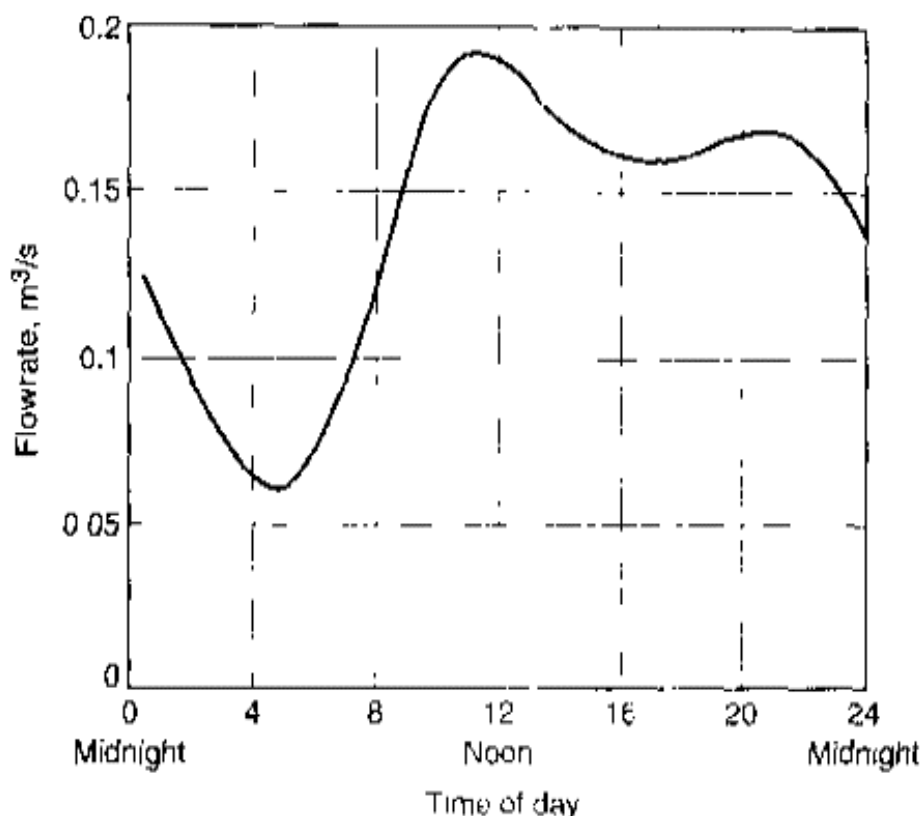


Figura 2.25 – Típica variação do fluxo de água residual ao longo do dia (Metcalf & Eddy, 2003)

O fator de ponta que corresponde ao máximo de caudal que poderá chegar à ETAR pode ser calculado a partir da seguinte equação (2.25):

$$\text{Fator de ponta sustentado (FP)} = \frac{QP - \text{Caudal de ponta (Hora, diariamente)}}{QM - \text{Caudal médio de longo prazo}} \quad (2.25)$$

Ao quantificar os fatores de pico, conhecemos as situações extremas em que chegará maior quantidade de água residual, o que serve de base ao dimensionamento da ETAR e também para a definição das características do sistema de arejamento a implementar.

Além da análise das variações de caudal, importa também verificar a variabilidade dos componentes da água residual afluente, pois dadas as características do caudal afluente procede-se à definição das características do processo de tratamento e de eventuais ajustes que possam ser necessários.

2.11 OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE AREJAMENTO

A otimização energética do sistema de arejamento pode ser atingida pelo ajuste dos níveis de O_2 fornecidos ao sistema de arejamento, para o devido tratamento biológico, às reais necessidades de O_2 ao longo do tempo. Como já foi referido, há diversas ETAR em que se define um caudal de ar de modo a garantir níveis de OD no tanque de arejamento na ordem dos 2 mg/l em determinadas condições de

temperatura e cargas/caudais afluentes. No entanto, estas últimas condições podem sofrer variações significativas ao longo do tempo, podendo o sistema de arejamento estar a funcionar com caudais de ar em excesso ou abaixo do necessário. Devido às alterações de carga de afluente (que dependem das atividades domésticas e/ou industriais) que por vezes se revelam superiores ou inferiores ao caudal médio para o qual a ETAR foi dimensionada, às variações de temperatura ao longo do dia e/ou até da época sazonal, deverá haver uma adaptação dos sobrepressores (ajustar potência ou velocidade). Estes fatores levam a que exista um potencial de otimização dos sistemas de arejamento.

Por outro lado, as características do difusor podem influenciar a eficiência de transferência de oxigénio no reator biológico. Cada tipo de difusor tem uma gama característica de eficiências dependendo do caudal de ar e das condições de temperatura e nível de água no tanque. Outros fatores associados à alteração do difusor que podem beneficiar a eficiência de transferência de O_2 são: (i) a área de difusão e (ii) tipo de bolha de ar, referido já no ponto 2.8 do presente relatório com comparação no Quadro 2.8. O aumento da área de difusão permite o maior contato entre ar/água (Water Environment Federation, 2009).

A verificação das perdas de carga no sistema de arejamento pode, também, ser um índice de deteção do fenómeno de colmatção dos filtros de entrada de ar nos sobrepressores, bem como do fenómeno de *fouling* nos difusores já referido anteriormente. A colmatção dos filtros de entrada de ar nos sobrepressores, como o próprio nome indica, consiste na redução da área de entrada de ar o que compromete a eficiência do sobrepressor, porque aumenta as perdas de carga à entrada e, consequentemente, aumenta a variação de pressão no sistema e a potência respetiva. Essa passagem é bloqueada por partículas existentes no ar.

Por outro lado, as partículas coloidais e matéria orgânica solúvel presente no afluente a tratar interligam-se e conectam nas membranas dos difusores obstruindo a passagem de ar, o que aumenta as perdas de carga a vencer na compressão. Por consequência, a variação de pressão e a potência, ao nível dos sobrepressores, são também maiores. Para além disso, ao nível do difusor, a colmatção irá afetar a dimensão da bolha, tendendo a aumentá-la, o que irá afetar a eficiência de transferência de O_2 (Water Environment Federation, 2009).

Há várias medidas a ser implantadas que possibilitam a reversão deste fenómeno como: (i) processo de bio-filtração (não é feita a coagulação) que permite a redução do *fouling* causado pelas proteínas, alteração da membrana do difusor (diminuição dos poros ou uso de membranas hidrofílicas), e (iii) limpeza de membranas (Carvalho, 2008).

Todavia no âmbito da presente dissertação, apenas se irá analisar o potencial de otimização passível de ser conseguido, por ajuste do sistema de arejamento em relação às reais necessidades de O_2 .

A otimização referida poderá ser conseguida por recurso à monitorização do sistema de arejamento, através da utilização de sondas de OD, isto é, que medem constantemente os níveis de OD requeridos e introduzem mecanismos de ajuste do caudal de ar fornecido (Metcalf & Eddy, 2003). Os mecanismos de ajuste passam pela variação de potência de sobrepessores ou da velocidade dos mesmos, fazendo com que forneçam mais ou menos ar consoante a necessidade.

No Quadro 2.14 é possível consultar exemplos de condições-causa-ações a serem tomadas para prevenção e para que a partir do processo de monitorização se mantenha a eficiência do sistema de arejamento (Water Environment Federation, 2009):

Quadro 2.14 – Exemplos de condições-causa-ações (Water Environment Federation, 2009)

Observação	Causa	Ações
Aumento do uso de energia do sobrepessor ou aumento de pressão do ar fornecido	Aparecimento do fenómeno de <i>fouling</i>	Se o equipamento está a funcionar, verificar a pressão à saída do ar no difusor
Mudanças de perfil do OD no tanque de arejamento	Aparecimento de mudanças biológicas que precisam de ser verificadas ou má distribuição do ar nas válvulas	Verificar o fluxo e a matéria orgânica no tanque de arejamento e os parâmetros de operação. Verificar a operação das válvulas automáticas. Verificar nas membranas de difusores se há aparecimento de <i>fouling</i> e tomar medidas.
Superfície do tanque de arejamento pode refletir a distribuição do ar e o tamanho das bolhas de ar	Falha nas membranas dos difusores ou canalização	Monitorizar as taxas de arejamento, valores de OD e as concentrações orgânicas do afluente para identificar mudanças nos parâmetros de operação.

Antes da monitorização ser feita, deverão ser definidos os parâmetros a avaliar, impostos os níveis a atingir e os limites que não podem ser ultrapassados, sendo também decididos os tempos de registo.

A monitorização pode ser feita por amostragem com análise laboratorial e monitorização on-line.

O primeiro procedimento é, o típico, que consiste em colher uma amostragem de água residual e transportá-la para um laboratório onde serão feitas as análises e de onde são retirados resultados que nos indicam os níveis dos parâmetros pretendidos.

O segundo corresponde à medição on-line pela colocação de sondas ao longo do tanque de arejamento que permitem duas aplicações (Rieger et al., 2003):

- Controlo do processo (níveis de oxigénio dissolvido, volume de água no tanque, concentração de sólidos em suspensão no tanque, temperatura da água, etc.);
- Monitorização constante da qualidade do efluente;

Isto é, medem constantemente os níveis dos parâmetros, desejados, na água que vai passando pelo tanque de arejamento.

No Quadro 2.15 são apresentados exemplos de parâmetros que são controlados e posteriormente alterados face a esse controlo:

Quadro 2.15 – Exemplos de parâmetros controlados e alterados (Metcalf & Eddy, 2003)

Processo	Parâmetro controlado	Parâmetro alterado
Lamas ativadas	Concentração de OD no tanque de arejamento	Taxa de oxigénio requerido
	Profundidade das lamas no decantador secundário	-
	TRS	Taxa de remoção de lamas
	CBO	Taxa de oxigénio requerido
	SST	Taxa de oxigénio requerido
	TKN	Taxa de oxigénio requerido

Na Figura 2.26 podemos verificar a estrutura de controlo do OD no processo de lamas ativadas:

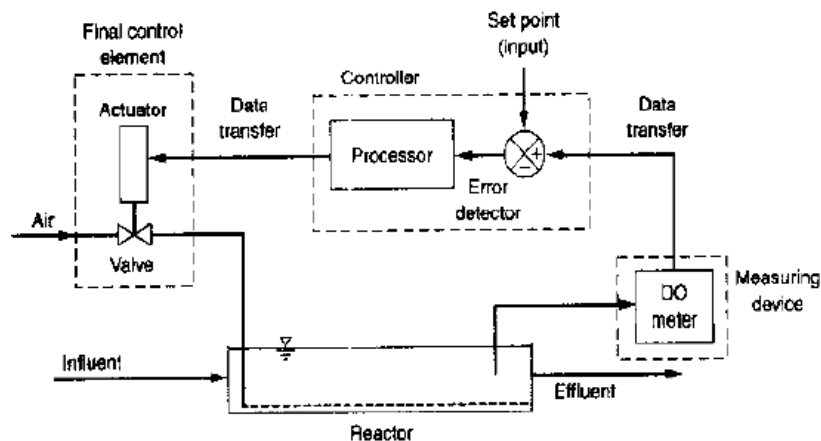


Figura 2.26 – Estrutura processo de lamas ativadas e componentes de controlo de OD (Metcalf & Eddy, 2003)

Como se pode verificar, uma sonda (input) é colocada para medição do equipamento que injeta o OD. Existe em seguida um processador que verifica a informação dada e no elemento de controlo final poderá ser implementada uma ação resultante dessa informação recolhida, como o fecho da válvula, ou o *turndown* do sobrepessor. Estas sondas verificam também a temperatura, concentrações dos mais variados constituintes da biomassa, pressão e valor de caudal (Metcalf & Eddy, 2003).

Este controlo pode ser automático ou manual. No manual é necessária a intervenção humana, enquanto que, no controlo automático tudo é programado e alterado por meio de software, trabalhando com algoritmos. No controlo com base nos níveis de OD, o controlo é feito às características que estão a ser apresentadas pela biomassa e face a esses resultados são impostas medidas aos sobrepessores que alteram o valor de OD, o que faz variar os microrganismos e os SST (Metcalf & Eddy, 2003). No manual

(Figura 2.26), um operador retira uma amostra do licor misto e das lamas ativadas que serão analisadas no laboratório. As concentrações no afluente são analisadas durante um grande período de tempo (horas), aquando da receção dos resultados do laboratório um operador irá implementar uma ação em que este alterará a posição da válvula, se necessário, para mudar a taxa de lamas ativadas. No controlo automático, que funciona por algoritmos, os níveis de OD necessários são continuamente medidos, analisados e o computador implementa igualmente ações nos sobrepressores, como variação da potência ou velocidade (Metcalf & Eddy, 2003).

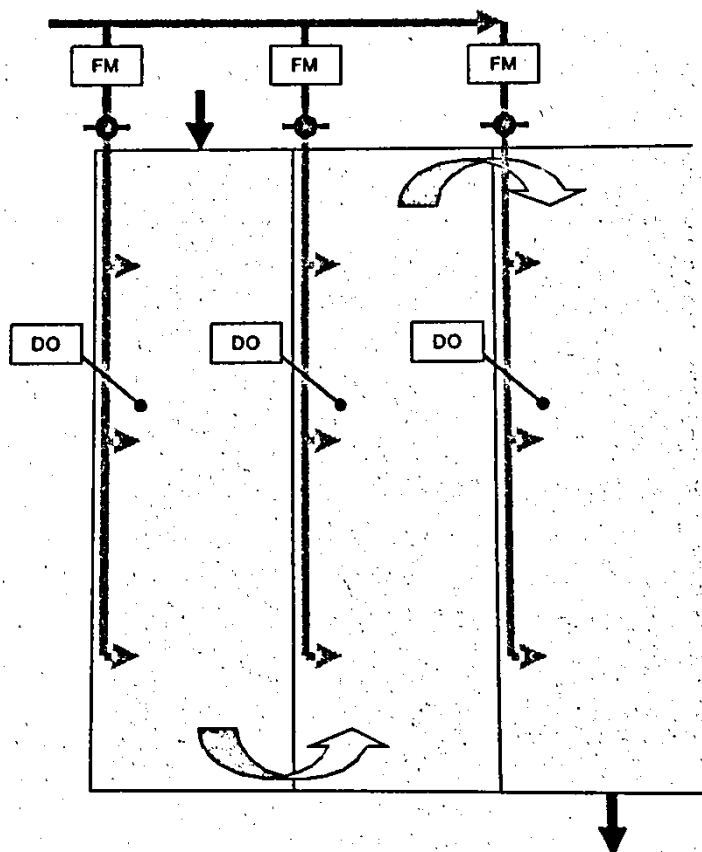


Figura 2.27 – Localização de sondas OD – 1º Esquema (Water Environment Federation, 2009)

As sondas OD devem ser dispostas de forma a obter a melhor percepção dos níveis de OD na maior área possível do tanque de arejamento (Metcalf & Eddy, 2003). Uma forma de controlar os níveis de OD pode ser observada no esquema da Figura 2.27. O tanque de arejamento tem 3 linhas de tratamento, em cada uma delas é colocado uma sonda OD e cada uma controla os níveis OD da linha onde se encontra. E a ação de mudança é imposta à grelha de difusores dessa mesma linha (neste caso a melhor opção é pelo controlo de ajustes manual). No 2º esquema apresentado, Figura 2.28, as sondas são colocadas em cada linha de tratamento no início, meio e fim nas grelhas de arejamento o que proporciona a medição constante do fluxo do afluente ao longo da sua passagem durante o período de medição. Permite assim uma melhor percepção a nível espacial do tanque de arejamento percebendo onde se localizam as maiores ou menores concentrações de CQO de forma a introduzir ajustes de arejamento de OD às necessidades,

compensando de forma quase imediata e até previsível às mudanças de CQO pela variação do sobrepessor e não agindo após a mudança já verificada. Isto potencia a otimização energética e a eficiência do sistema (Water Environment Federation, 2009).

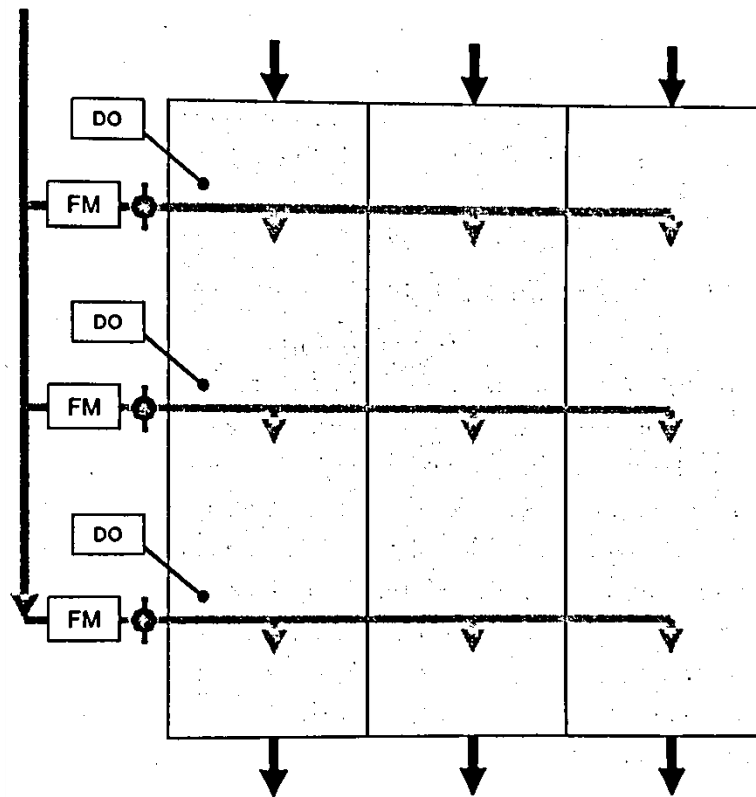


Figura 2.28 – Localização de sondas OD - 2º Esquema (Water Environment Federation, 2009)

O controlo automático, por sondas, em especial para o sistema de arejamento, permite:

- Custos associados a análises laboratoriais sejam minimizados;
- Redução do trabalho relacionado com a medição em comparação com monitorização por recolha de amostras (redução dos procedimentos desde da colheita à análise laboratorial);
- Análise contínua e em tempo real, que permite obtenção de dados relativos aos parâmetros em estudo no tempo e no espaço;
- Medição e análise da concentração do fluxo em espaços do tanque de difícil acessibilidade;
- Perceção da variação de concentração ao longo do tanque;
- Eliminação de poluentes ou contaminação na análise em comparação com a monitorização por recolha de amostras (onde por vezes há contaminação no momento da recolha ou análise);

Deverá, todavia, atender-se que o controlo totalmente automático poderá apresentar problemas significativos e tal deverá ser evitado, ou, pelo menos, sujeito à utilização de algoritmos bastante

complexos que entrem em linha de conta com um histórico significativo de dados, que permita representar a ocorrência de múltiplas situações de operação. Um dos maiores problemas associados a este tipo de monitorização é a falha de controlo total. Isto é, como esta monitorização controla baseado em algoritmos, ou seja, são estabelecidas normas/instruções de como agir perante determinada situação, se o algoritmo não reconhecer a falha/desvio que esteja acontecer em algum parâmetro a ser avaliado, poderão não ser estabelecidas as mudanças necessárias, o que resultará num “mau” tratamento do afluente e numa baixa qualidade do efluente. (Metcalf & Eddy, 2003). Deve-se ter em conta também o local onde são colocadas as sondas. É essencial que as sondas sejam colocadas uniformemente ao longo do tanque, ou pelo menos em pontos representativos da mistura global existente no tanque de arejamento, para ter uma melhor percepção das concentrações do fluxo que variam ao longo do tanque e não ficar com “dados” insuficientes e que levam a “atitudes” de controlo erradas. Por exemplo, se a sonda é colocada apenas no final do tanque de arejamento os níveis de OD necessários serão mais baixos que os níveis a ocorrer no início do tanque (Water Environment Federation, 2009).

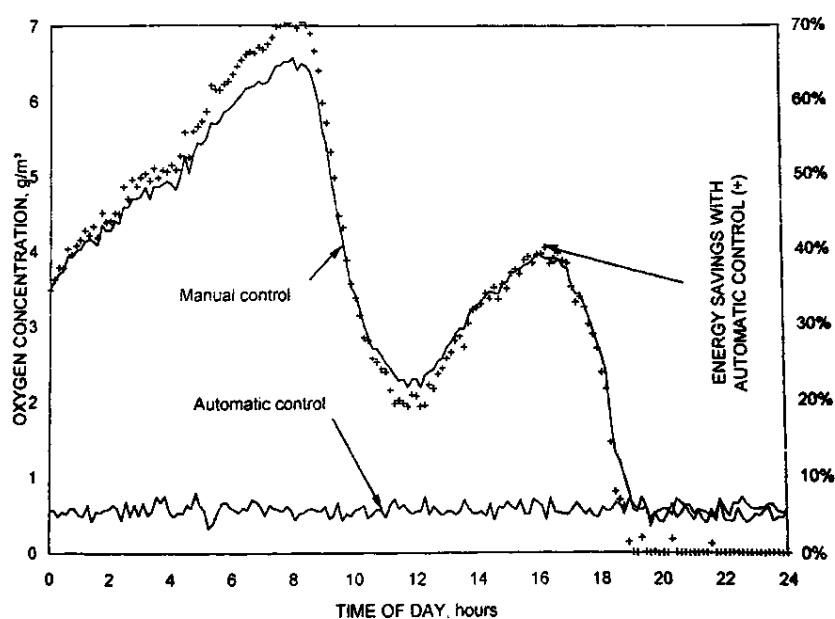


Figura 2.29 – Comparação dos níveis de OD para Controlo automático do sistema de arejamento versus Operação manual (Water Environment Federation, 2009)

Pela observação da Figura 2.29, é possível verificar, todavia, que há ganhos de energia ao recorrer ao controlo automático em comparação com a operação manual. Esta figura compara uma situação, com observação de 24 horas, em que a partir do controlo manual acaba por ocorrer um excesso de oxigénio dissolvido nos períodos de dia em que é expectável maior fluxo de água residual e menores concentrações nos períodos da noite (onde até se confundem as linhas de controlo automático e operação manual). Ao invés, no controlo automático os níveis de OD são mudados constantemente em função do que está acontecer no espaço e tempo resultando em ganhos de energia (Water Environment Federation, 2009).

Isso acontece, porque o equipamento mecânico de arejamento, neste caso o sobrepressor, ao invés de trabalhar à máxima capacidade, é devidamente ajustado ao fluxo de água residual e às cargas orgânicas existentes no sistema.

3 SOFTWARE UTILIZADO E CASO DE ESTUDO

A avaliação do potencial de otimização energética a realizar no presente trabalho, aplicando os conceitos apresentados no capítulo anterior, partirá da avaliação de uma ETAR definida e consistirá na comparação de diferentes cenários, utilizando um *software* que permite a simulação do processo biológico. Nesses cenários procurar-se-á avaliar o efeito que poderá existir a nível de consumos de energia de eventuais mudanças nas condições ambientais (temperatura), bem como das características dos caudais afluentes (carga e caudal), desde que haja condições para ajuste às mesmas, e ainda as vantagens que poderão existir da introdução de mecanismos de controlo do sistema de arejamento, atendendo aos níveis de OD no tanque e, por fim, da criação de condições que permitam a desnitrificação.

Para tal, recorreu-se ao *software* ASIM versão 4.0, mais propriamente ao modelo estequiométrico ASM 3, adaptado à realidade Suíça, para efetuar uma simulação dinâmica ao tratamento biológico de uma ETAR, baseado em dados de projeto e com manipulação de dados na fase de exploração.

Este *software* comercializado pela empresa luxemburguesa HOLINGER AG permite modelar e simular o comportamento dinâmico dos processos de tratamento biológico de águas residuais municipais, recorrendo a fórmulas estequiométricas e parâmetros cinéticos. O modelo em causa permite simular o tratamento biológico tendo em conta a respiração endógena, nitrificação e desnitrificação.

De seguida é feita a apresentação do ASIM 4.0 para uma melhor perceção do leitor do funcionamento do *software* usado como apoio ao caso de estudo. Além da apresentação do funcionamento do *software*, é apresentado o modelo estequiométrico e os parâmetros cinéticos usados.

Por outro lado, enquanto caso de estudo foi utilizado um dos exemplos do tutorial do *software* ASIM, para o qual existiam todos os dados disponíveis para a simulação de diferentes cenários e avaliação dos efeitos em termos de necessidades de oxigénio. No entanto, para avaliação dos efeitos em termos de consumos de energia, foi ainda necessário efetuar o dimensionamento do sistema de arejamento e estimar a potência dos sobrepressores a utilizar. Nesse contexto, no presente capítulo serão, também, apresentadas as fórmulas mais significativas que justificam o dimensionamento do sistema de arejamento de uma ETAR.

3.1 SOFTWARE ASIM

O *software* escolhido permite, como referido, o estudo de uma ETAR simulando o tratamento biológico da mesma, contemplando a nitrificação e, se pretendido, também a desnitrificação, através da definição da ETAR a nível geométrico e operacional.

Esse mesmo *software*, permite a variação de fatores como:

- Temperatura ao longo do dia;
- Introdução de mecanismos de controlo;
- Diminuição/aumento do afluente;
- Diminuição/aumento da matéria orgânica;
- Variação das concentrações dos diversos parâmetros em estudo;

Primeiramente, para iniciar o estudo da ETAR, é necessário escolher o modelo de trabalho. O modelo que nos interessa é: Modelo de lamas ativadas (*Activated Sludge Model*) que contém os parâmetros cinéticos e estequiométricos (consultar ponto 3.2), bem como, a possibilidade de manipulação das condições iniciais e concentrações do afluente. O modelo escolhido (Figura 3.1) para o nosso estudo é calibrado para uma ETAR municipal Suíça (*Activated sludge model No.3*) e foi considerado atendendo aos casos exemplo disponíveis no modelo, procurando evitar a necessidade de ajuste do modelo estequiométrico e parâmetros cinéticos a um caso de estudo português (aspeto que sai fora do âmbito do presente trabalho).

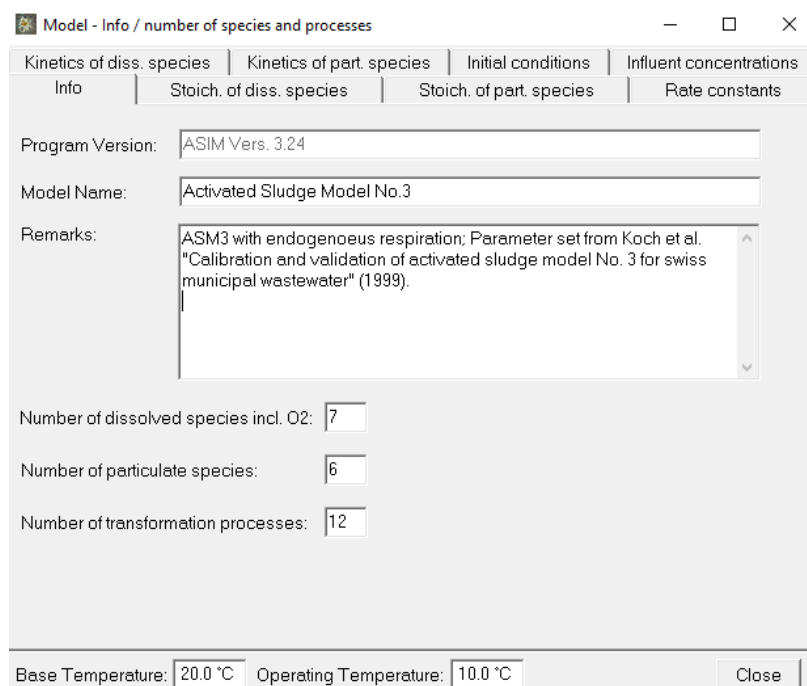


Figura 3.1 – Modelo *Activated Sludge Model* No.3 (imagem retirada do software)

Em seguida são definidas as principais características do tanque de arejamento e da decantação secundária planta e os reatores do nosso tratamento biológico (Figura 3.2 e Figura 3.3 respetivamente). A idade das lamas é introduzida na unidade “dias” e todos os caudais em “m³/d”. As concentrações são impostas em “mg/l”(= g/m³) e as temperaturas em “°C”. Ao definir a 2ª coluna da Figura 3.3 como 2 mg/l, estamos a admitir que a concentração de oxigénio será mantida constante ao longo de todos os reatores e a definição da coluna 3 diz respeito à capacidade de transferência de oxigénio. A Figura 3.4 indica-nos o registo que devemos fazer acerca das concentrações dos diversos parâmetros de entrada do afluente. O parâmetro da CQO está fracionado em vários tipos e através de uma calibração já preconizada é possível registar os valores *standards* (Quadro 3.1). É através destes registos que são formuladas as condições iniciais da planta.

Flowscheme:

Definition | Reactors and secondary clarifiers | Initial conditions | Influent concentrations | State of plant

Number of reactors: 3 Number of secondary clarifier compartments: 1

1. influent flowrate: 4000.000 directed to reactor Nr.: 1

2. influent flowrate: 0.000 directed to reactor Nr.: 1

Return sludge flowrate: 4000.000 directed to reactor Nr.: 1

1. internal recirculation flowrate: 0.000 taken from reactor Nr.: 2 directed to reactor Nr.: 1

2. internal recirculation flowrate: 0.000 taken from reactor Nr.: 2 directed to reactor Nr.: 1

Sludge age (SRT) (>0.250): 9.000

Saturation concentration for oxygen: 10.000 Operating temperature: 10.0 °C

Figura 3.2 – Definição das características do processo de lamas ativadas (exemplo)

Flowscheme:

Initial conditions | Influent concentrations | State of plant

Definition | Reactors and secondary clarifiers

Reactors	Volume	O2 Setpoint	Kla Value
Reactor 1	250.000	0.000	0.000
Reactor 2	250.000	0.000	0.000
Reactor 3	500.000	2.000	0.000
Clarifier 1	500.000		

Figura 3.3 – Definição dos reatores biológicos (exemplo)

Flowscheme:

Definition | Reactors and secondary clarifiers | Initial conditions | Influent concentrations | State of plant

Concentrations of 1. influent

for dissolved species:

Species	Inert COD	Substrate COD	Ammonium N	Dinitrogen N	Nitrate N	Alkalinity Mol
values	16.800	28.000	25.000	0.000	0.000	6.000

for particulate species:

Species	Inert COD	Substrate COD	Heterotro CO	Storage p CO	Nitrifier CO	Total Mass TS
values	56.000	154.000	25.200	0.000	0.000	210.000

Concentrations of 2. influent

for dissolved species:

Species	Oxygen O ₂	Inert COD	Substrate CO	Ammonium	Dinitrogen N	Nitrate N	Alkalinity M
values	0.000	0.000	0.000	700.000	0.000	0.000	55.000

for particulate species:

Species	Inert COD	Substrate CO	Heterotro CO	Storage p CO	Nitrifier CO	Total Mass TS
values	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Close

Figura 3.4 – Definição das concentrações do afluente (exemplo)

É também necessária a implementação da variação das concentrações de entrada do afluente ao tratamento biológico. Essa variação é importante para a simulação, porque agrega as mudanças que ocorrem no afluente ao longo do período de tempo (24 horas). Essas variações podem ser da própria carga do afluente, dos poluentes existentes, lamas em excesso ou temperatura, etc.. A não introdução da variação dos diversos parâmetros impede qualquer simulação do *software*.

Quadro 3.1 – Valores *standards* para as frações de CQO no ASM3

	Dissolvido		Particulado					
Fração	Inert	Substrate	Inert	Substrate	Heterotroph	Storage p	Nitrifier	Total
	6%	10%	20%	55%	9%	0%	0%	100%

A simulação permite que seja feita para vários ciclos. É preciso definir a duração do ciclo e quantos pontos de introdução de dados esses ciclo tem (Figura 3.5).

Variation

Options | Inflows | dissolved species | particulate species | kla's on

Duration of a cycle (hours): 24.000

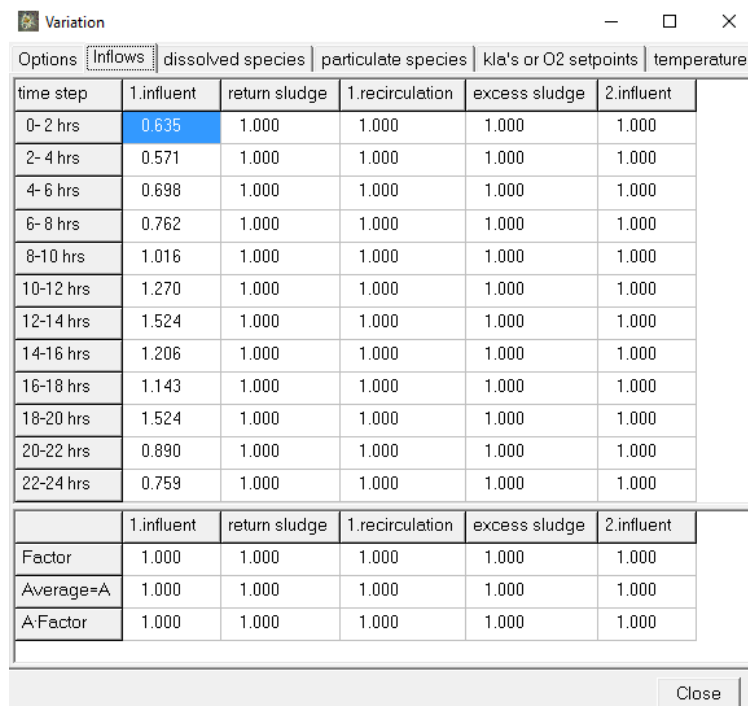
Number of points in a cycle: 12

Variable concentrations in 2. influent ☐

Close

Figura 3.5 – Definição do ciclo (exemplo)

De seguida, são definidas as variações num ciclo nos seus pontos das concentrações de entrada (Figura 3.6).



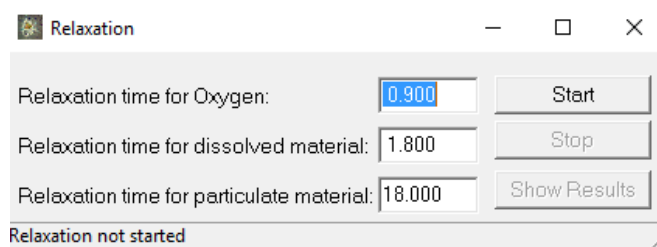
Options					
	Inflows	dissolved species	particulate species	kla's or O2 setpoints	temperature
time step	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
0-2 hrs	0.635	1.000	1.000	1.000	1.000
2-4 hrs	0.571	1.000	1.000	1.000	1.000
4-6 hrs	0.698	1.000	1.000	1.000	1.000
6-8 hrs	0.762	1.000	1.000	1.000	1.000
8-10 hrs	1.016	1.000	1.000	1.000	1.000
10-12 hrs	1.270	1.000	1.000	1.000	1.000
12-14 hrs	1.524	1.000	1.000	1.000	1.000
14-16 hrs	1.206	1.000	1.000	1.000	1.000
16-18 hrs	1.143	1.000	1.000	1.000	1.000
18-20 hrs	1.524	1.000	1.000	1.000	1.000
20-22 hrs	0.890	1.000	1.000	1.000	1.000
22-24 hrs	0.759	1.000	1.000	1.000	1.000
	1.influent	return sludge	1.recirculation	excess sludge	2.influent
Factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A Factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Close

Figura 3.6 – Definição da variação (exemplo)

Se quisermos alterar o fluxo do parâmetro em estudo (aumentando ou diminuindo) basta alterar a linha “Factor”. Essa manipulação permite-nos simular cenários de aumento/redução da carga de afluente ou concentrações de diversos parâmetros de avaliação ao longo da variação do dia.

Depois de definidos estes parâmetros iniciais é possível efetuar a simulação. Este *software* permite que sejam utilizados 3 métodos de cálculo: (i) relaxação, (ii) integração, (iii) simulação dinâmica. Para o primeiro método é necessária a introdução de 3 tempos de computação (Figura 3.7), uma vez que a cinética de cada processo necessita de um tempo específico para atingir o estado estável. O programa propõe, por defeito, os valores apropriados para cada tempo. No entanto, saliente-se que o estado estável nunca é totalmente atingido pelo método de relaxação, mas apenas aproximado. Por outro lado, a integração solicita apenas o tempo de integração que também é proposto pelo programa (de salientar que existem diferenças nesses tempos com a introdução de mais reatores).



Relaxation

Relaxation time for Oxygen: 0.900 Start

Relaxation time for dissolved material: 1.800 Stop

Relaxation time for particulate material: 18.000 Show Results

Relaxation not started

Figura 3.7 – Tempos de computação para o método de Relaxação (exemplo)

A relaxação permite a aproximação, através de uma rotina rápida, de um estado estável do tratamento biológico. O estado estável só é alcançável se efetuado uma relaxação seguida de integração, que nos permite verificar o estado da planta. Nesse estado da planta observámos os resultados dos seguintes parâmetros ao final de cada reator definido (Figura 3.8):

Definition	Reactors and secondary clarifiers		Initial conditions		Influent concentrations	State of plant
	1.influent	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Clarifier 1	
Flowrate/Volumes	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000	
Oxygen O ₂	2.000	2.000	2.000	2.000		
Inert COD	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800	
Substrate COD	28.000	0.996	0.516	0.373	0.373	
Ammonium N	25.000	6.703	2.139	0.466	0.466	
Dinitrogen N	0.000	2.066	2.537	2.945	2.945	
Nitrate N	0.000	17.837	22.101	23.628	23.627	
Alkalinity Mol	6.000	3.420	2.789	2.561	2.561	
Inert COD	56.000	1708.637	1711.256	1713.948		
Substrate COD	154.000	93.212	68.550	50.247		
Heterotro COD	25.200	1421.393	1427.424	1430.061		
Storage p COD	0.000	29.889	25.875	20.926		
Nitrifier COD	0.000	96.730	97.484	97.567		
Total Mass TSS	210.000	3448.025	3435.187	3422.982		
Oxygen consumption		844.601	640.268	412.149		

Figura 3.8 – Estado da planta (exemplo)

Estes dois métodos alteram as condições iniciais definidas para a planta, definindo novos dados. A simulação dinâmica é feita após o equilíbrio do tratamento biológico, ou seja, após a introdução dos dois métodos referidos anteriormente. É neste método que referimos quantos ciclos queremos “correr”, o que nos devolve resultados ilustrados em gráficos da variação das concentrações dos diversos parâmetros em avaliação (Figura 3.9) ao longo do período de estudo (ciclo).

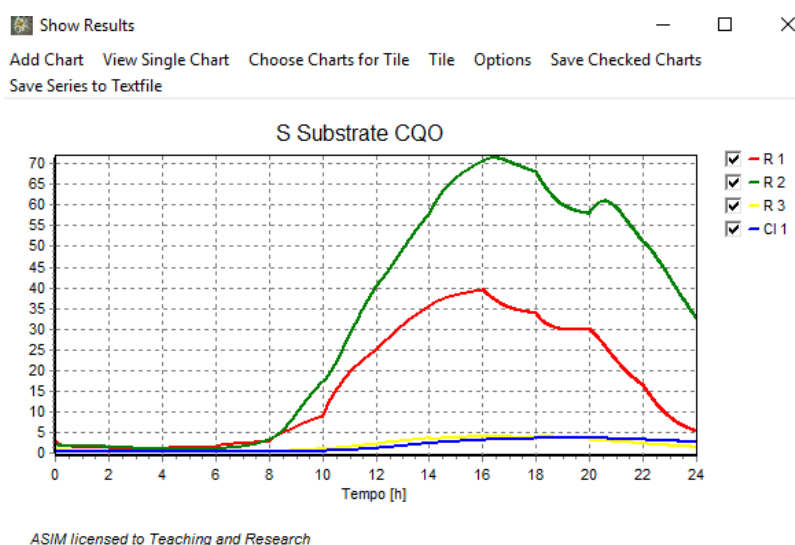


Figura 3.9 – Exemplo de um gráfico resultado da simulação dinâmica (Variação CQO)

Para a simulação dinâmica, como referido anteriormente, é possível experimentar diversos cenários, como variação de temperatura ao longo do dia ou do afluente. Este programa permite ainda a introdução de mecanismos de controlo com vista a ajustar o processo às reais necessidades (Figura 3.10). Esses controlos são alcançáveis através da seleção dos “control loops” (que devem ser selecionados só após a planta estar em estado estável).

Control Loop	Active	Control Type	Signal Value / Equation
Return sludge	<input type="checkbox"/>	On/Off	Signal to control Return sludge
Recirculation	<input type="checkbox"/>	On/Off	Signal to control Recirculation
Dx=Excess sludge	<input type="checkbox"/>	On/Off	Signal to control Dx=Excess sludge
2.Influent	<input type="checkbox"/>	On/Off	Signal to control 2.Influent
Kla of Reactor 1	<input type="checkbox"/>	On/Off	Signal to control Kla of Reactor 1
Kla of Reactor 2	<input checked="" type="checkbox"/>	On/Off	=25.000 if Oxygen O2(2)>2.200 and=120.000 if <1.500
Kla of Reactor 3	<input checked="" type="checkbox"/>	Equation	=110.000-110.000×(Oxygen O2(3)-2.000)
Kla of Reactor 4	<input type="checkbox"/>	On/Off	Signal to control Kla of Reactor 4
Kla of Reactor 5	<input type="checkbox"/>	On/Off	Signal to control Kla of Reactor 5

Deactivate All Rule based Control Loops Close

Figura 3.10 – Mecanismos de controlo (exemplo)

Esse controlo pode ser feito ao 2º afluente (se existente), recirculação interna, lamas em excesso, lamas recicladas e à transferência de oxigénio por cada reator (caso em estudo).

A escolha do controlo é definida pela seleção do reator (Seleção da opção: *active*) e opção “Equation” ou “On/Off” dependendo da escolha (Figura 3.10). Esse controlo por equação (Figura 3.11) é feito à variável escolhida de um dado reator, em que é definido um valor sinal (*signal value*) e quando esse valor é atingido o arejamento (*setpoint of controlled parameter*) é restringido (*slope of equation*).

A equação definida para o exemplo preconizado na Figura 3.11 é:

$$K_L a[R3] = 110 - 110 \times (S_{O_2} \times [R3] - 2) \quad (3.1)$$

Esta equação indica que a concentração de oxigénio é medida no reator 3 e que a transferência de oxigénio é restringida quando essa concentração atinge 2 mg/l. Ultrapassado esse valor, os sobrepessores são desligados. Se quiser que um dado reator R_y funcione de acordo com um reator R_x a equação é:

$$K_L a[R_y] = \text{Setpointcontrolledparameter} - \text{slope} \times (S_{O_2} \times [R_x] - \text{signalvalue}) \quad (3.2)$$

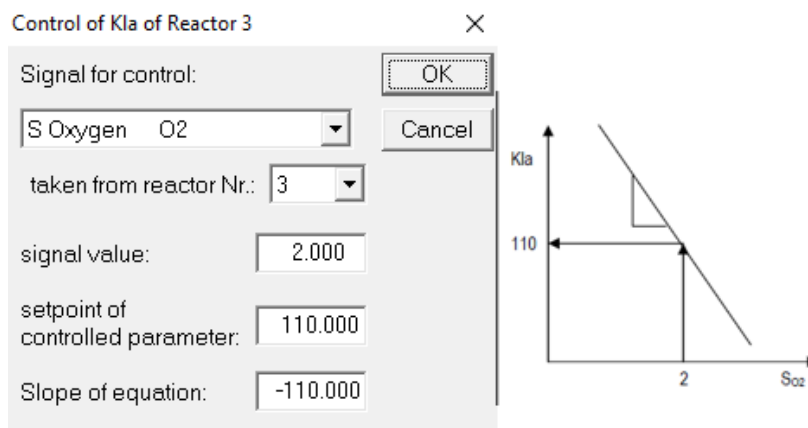
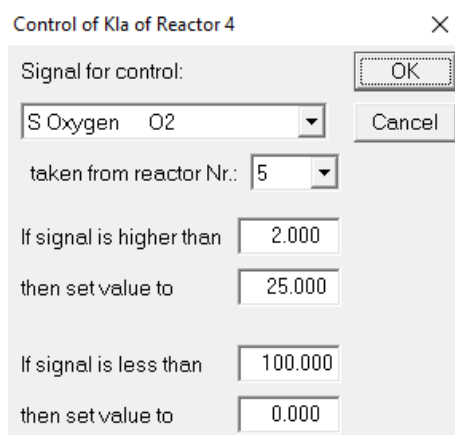


Figura 3.11 – Controle por equação (exemplo)

O controle por *On/Off* (Figura 3.12) é feito constantemente e em que os sopradores alteram a sua operação de arejamento intermitentemente consoante o intervalo em que se encontra o valor de controlo (*signal for control*). Este controlo é feito pela introdução de dois sensores (como referidos no capítulo 2 do presente relatório) que mede quando o parâmetro em controlo (*signal for control*) atinge o valor mais alto de um intervalo previamente definido e altera o arejamento para um determinado valor e um sensor que mede quando esse parâmetro atingir o valor mais baixo do intervalo definido e altera para outro valor o arejamento (Figura 3.12). Neste controlo também se pode definir o reator a depender a avaliação de si mesmo ou de outro reator.

Figura 3.12 – Controle *On/Off* (exemplo)

3.2 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Para efeitos da presente dissertação considera-se como base de estudo a ETAR, exemplo apresentado a nível do tutorial do *software* ASSIM.

Relativamente a essa ETAR, considera-se que a linha de tratamento é composta por 3 reatores e um decantador secundário, isto, para o ano horizonte (de projeto). As imagens referentes a gráficos e dados

de consumos que vão ser apresentados ao longo deste capítulo e do capítulo 4 são retiradas das simulações realizadas no *software* utilizado para o presente projeto.

Os dados relativos às características do processo de lamas ativadas bem como aos volumes e concentrações afluentes à ETAR em estudo são apresentados no Quadro 3.2 a seguir:

Quadro 3.2 – Dados relativos à planta da ETAR e concentrações do afluente

Parâmetro (unidade)	Ano Horizonte
Volume diário do afluente (m ³ /d)	4000
Volume do tanque de lamas ativadas (m ³)	1500
Volume do decantador secundário (m ³)	2000
Caudal diário de lamas recicladas (m ³ /d)	4000
Idade de lamas (d)	9
Concentração N total (g/m ³)	34,6
Concentração NH ₄ -N (g/m ³)	25
Concentração CQO _t (g/m ³)	280
Concentração SST (g/m ³)	210
Alcalinidade (mol/m ³)	6
Temperatura Inverno (°C)	10
Temperatura Verão (°C)	20
Saturação de oxigénio (mg/l)	10

Para efeitos de avaliação das necessidades de oxigénio correspondentes à situação base, é definido que a concentração de oxigénio, 2 mg/l, deve ser mantida ao longo do tratamento biológico (reatores) e que a capacidade de arejamento (k_{La}) é constante Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Definição dos volumes de reatores e arejamento

	Volume (m ³)	Nível de oxigénio (mg/l)	Valor k_{La}
Reator 1	500	2,00	0
Reator 2	500	2,00	0
Reator 3	500	2,00	0
Decantador secundário	2000		

A definição dos volumes dos tanques de arejamento é feita pela equação empírica de todos os volumes de um sólido retangular/quadrangular bem como a sua área:

$$V = C \times L \times h \quad (3.3)$$

$$A = L \times C \quad (3.4)$$

onde:

V — volume do tanque (m³);

L — comprimento do tanque (m);

C — largura do tanque (m);

h — altura do tanque (m);

A — área do tanque (m²);

Esta definição do comprimento, largura e altura do tanque será importante numa fase posterior como a determinação da disposição dos difusores ao longo do tanque (malha geométrica dos difusores).

Na Figura 3.13 é representado o esquema da planta no tratamento secundário para o cenário atual em que se contemplam 3 reatores biológicos.

Flowscheme of the plant

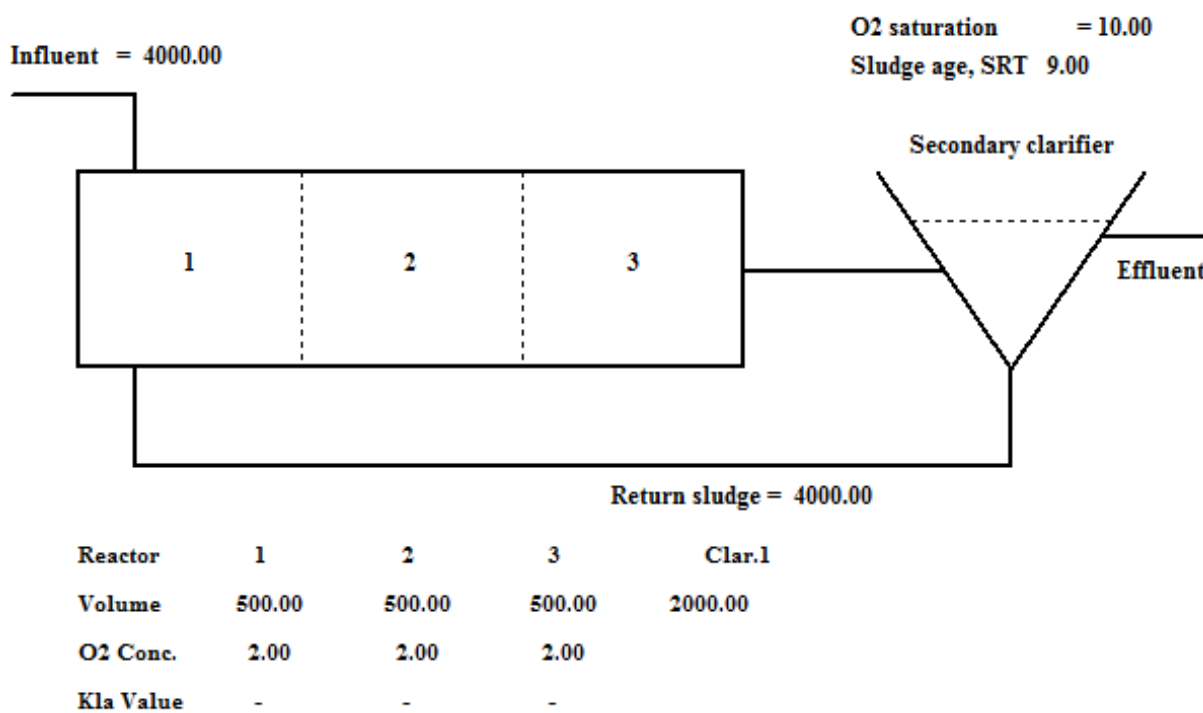


Figura 3.13 – Planta da fase de tratamento secundário da ETAR em estudo (imagem retirada do software ASIM)

A partir de dados de entrada (concentrações dos mais diversos parâmetros para construção), calibração e validação do modelo, é possível efetuar simulação para vários cenários de afluência.

Num primeiro cenário, considerado o de base, a ETAR de estudo tem 3 reatores em que não é contemplado a desnitrificação, e são avaliados os consumos de oxigénio de Verão/Inverno.

Inicialmente, dimensionou-se o sistema de arejamento a implantar na ETAR, caso de estudo, de forma a obter o estudo dos consumos e custos do arejamento. O cenário 1, apresentado a seguir, contempla os dados de projeto com o período de estudo definido de um ano, comparando os gastos nas épocas sazonais Inverno/Verão. Os restantes cenários terão o mesmo período de estudo e comparação entre Inverno/Verão.

Para efeitos da presente dissertação, uma vez que a calibração de um modelo estequiométrico e cinético se reveste de uma complexidade acrescida, considera-se como base o exemplo apresentado a nível do tutorial do *software* ASIM, sendo descritas no ponto seguinte 3.2.1 as principais características do mesmo.

3.2.1 Modelo estequiométrico e parâmetros cinéticos


A matriz de relação da estequiometria das espécies dissolvidas do modelo escolhido é apresentada na Figura 3.14. Para processo e concentração está definido um coeficiente estequiométrico. Os valores nulos indicam que essa espécie não participa ativamente no processo biológico.

Model - Stoichiometry of dissolved species

Info	Stoich. of diss. species		Stoich. of part. species		Rate constants	Kinetics of diss. species		Kinetics of part. species		Initial c
Process	Oxygen O2	Inert COD	Substrate COD	Ammonium N	Dinitrogen N	Nitrate N	Alkalinity Mol			
Hydrolysis			1.000							
Aerobic Storage	-0.200		-1.000	0.030			2.14E-3			
Anoxic Storage			-1.000	0.030	0.105	-0.105	9.63E-3			
Aerobic Growth	-0.250			-0.070			-5.00E-3			
Anoxic Growth				-0.070	0.189	-0.189	8.49E-3			
Aer endog Resp	-0.800			0.062			4.43E-3			
Ano endog Resp				0.062	0.280	-0.280	0.024			
Aer Resp PHA	-1.000									
Ano Resp PHA					0.350	-0.350	0.025			
Aut Growth	-18.048			-4.237		4.167	-0.600			
Aer endog Resp	-0.800			0.062			4.43E-3			
Ano endog Resp				0.062	0.280	-0.280	0.024			

Figura 3.14 – Matriz estequiometria de espécies dissolvidas

A matriz de relação da estequiometria das espécies particuladas é apresentada na Figura 3.15 e segue o mesmo conceito explicado anteriormente.


Model - Stoichiometry of particulate species

Info	Stoich. of diss. species		Stoich. of part. species		Rate constants	Kinetics of diss. species		Kinetics of part. species			
Process	Inert	COD	Substrate	COD	Heterotro	COD	Storage p	COD	Nitrifier	COD	Total Mass TSS
Hydrolysis			-1.000								-0.750
Aerobic Storage							0.800				0.480
Anoxic Storage							0.700				0.420
Aerobic Growth					1.000		-1.250				0.150
Anoxic Growth					1.000		-1.540				-0.024
Aer endog Resp	0.200				-1.000						-0.750
Ano endog Resp	0.200				-1.000						-0.750
Aer Resp PHA							-1.000				-0.600
Ano Resp PHA							-1.000				-0.600
Aut Growth									1.000		0.900
Aer endog Resp	0.200								-1.000		-0.750
Ano endog Resp	0.200								-1.000		-0.750

Figura 3.15 – Matriz estequiométrica de espécies particuladas

Parâmetros cinéticos de espécies dissolvidas

O registo dos parâmetros cinético de espécies dissolvidas são as ordens de reação em relação a cada parâmetro. No Quadro 3.4 a seguir são apresentados esses parâmetros:

Quadro 3.4 – Parâmetros cinéticos para espécies dissolvidas (Modelo ASM 3, software ASIM)

Abreviatura	Significado
K	Constante de ½ saturação
Sd	Concentração de espécies dissolvidas
A	Espécie A
B	Espécie B
n	Fator/Expoente
r_{kin}	Constante cinética

1. Ordem 0: cinéticos de ordem 0. Esta espécie não tem influência nos cinéticos.

$$r_{kin} \quad (3.5)$$

2. Ordem1: A taxa de processo é proporcional à concentração das espécies.

$$r_{kin} \times S_{dA} \quad (3.6)$$

3. Ordem variável: A taxa de processo é proporcional à concentração das espécies com ordem n.

$$r_{kin} \times S_{dA}^n \quad (3.7)$$

4. Monod: Monod cinéticos. Esta espécie influencia a taxa de processo com a saturação cinética.

$$r_{kin} \times \frac{S_{dA}}{K_A + S_{dA}} \quad (3.8)$$

5. Inibição: Esta espécie inibe a taxa de processo.

$$r_{kin} \times \frac{K_A}{Sd_A + K_A} \quad (3.9)$$

6. Dois substratos: Duas espécies influenciam o processo paralelo. Esta cinética requiere a definição de um novo substrato.

$$r_{kin} \times \frac{Sd_A}{K_A + Sd_A} \times \frac{Sd_A}{Sd_A + Sd_B} \quad (3.10)$$

7. Via gasosa: Esta espécie é retirada do reator de forma proporcional à sua concentração e ao valor K_{La} .

$$r_{kin} \times K_{La} \times (Sd_A - K_{A,GAS}) \quad (3.11)$$

8. Exponencial: A taxa de reação depende exponencialmente da concentração.

$$r_{kin} \times \exp(Sd_A - K_{exp}) \quad (3.12)$$

9. Monod II: Monod cinéticos, depende exponencialmente do fator.

$$r_{kin} \times \frac{Sd_A^n}{K_A^n + Sd_A^n} \quad (3.13)$$

10. Inibição II: A taxa de processo é inibida: operação depende do fator exponencial.

$$r_{kin} \times \frac{K_A^n}{K_A^n + Sd_A^n} \quad (3.14)$$

11. Via gasosa II: A espécie é privada dependendo da sua concentração, mas é independente do valor K_{La} .

$$r_{kin} \times (Sd_A - K_{A,GAS}) \quad (3.15)$$

12. Via gasosa III: A taxa de processo depende da concentração da espécie A e também da concentração (e fator) de outras espécies.

$$r_{kin} \times (Sd_A - K_{GAS} \times Sd_B) \quad (3.16)$$

Parâmetros cinéticos de espécies particuladas

O registo dos parâmetros cinéticos de espécies particuladas determina o termo de reação dependendo das espécies particuladas.

No Quadro 3.5 são apresentados esses parâmetros:

Quadro 3.5 – Descrição dos parâmetros cinéticos de espécies particuladas (Modelo ASM 3, software ASIM)

Abreviatura	Significado
Xp	Concentração de espécies particuladas

1. Ordem zero: Espécies sem influência na reação cinética

$$r_{kin} \quad (3.17)$$

2. 1ª Ordem: A taxa de processo é proporcional à concentração de espécies.

$$r_{kin} \times Xp_A \quad (3.18)$$

3. Ordem variável: A taxa de processo é proporcional à concentração de espécies de potência n.

$$r_{kin} \times Xp_A^n \quad (3.19)$$

4. Absorção: Esta espécie influencia a taxa de processo com parâmetros cinéticos de saturação-absorção.

Para isto, pelo menos duas espécies particuladas devem ser definidas.

$$r_{kin} \times \frac{Xp_A/Xp_B}{K_A + Xp_A/Xp_B} \quad (3.20)$$

5. Inibição: Quanto maior a relação da concentração Xp_A/Xp_B , mais forte é a inibição do processo.

$$r_{kin} \times \frac{K_A}{K_A + Xp_A/Xp_B} \quad (3.21)$$

6. Inibição/Saturação: O aumento da taxa Xp_A/Xp_B leva à saturação; a máxima taxa é atingida com a menor taxa de relação.

$$r_{kin} \times \frac{K_A - Xp_A/Xp_B}{1,05 \times K_A - Xp_A/Xp_B} \quad (3.22)$$

Constantes de taxa

No registo de “constantes de taxa” é preciso definir as taxas de concentração de cada espécie individual. K é o produto de todas r_{kin} num processo. As taxas de constantes devem ser definidas para uma temperatura básica fatorizadas por um coeficiente de temperatura de acordo com a seguinte equação:

$$r_{kin}(T) = r_{kin} \times (T_{basis}) \times \exp(a \times (T - T_{basis})) \quad (3.23)$$

3.2.2 Caudal afluente

O caudal afluente revela-se como um fator importante de medição numa ETAR pela influência que provoca nos procedimentos de tratamento de águas residuais na infraestrutura em estudo. Nos períodos de maior afluência as necessidades de arejamento aumentam e vice-versa. As cargas poluentes também se esperam maiores quando a carga de afluente é maior e vice-versa. A ETAR é dimensionada para o registo de um caudal médio afluir à mesma. Por se tratar de um valor médio, o valor não é sempre verificado ao longo do dia, sendo que pode registar volumes superiores ou inferiores ao longo desse período de tempo.

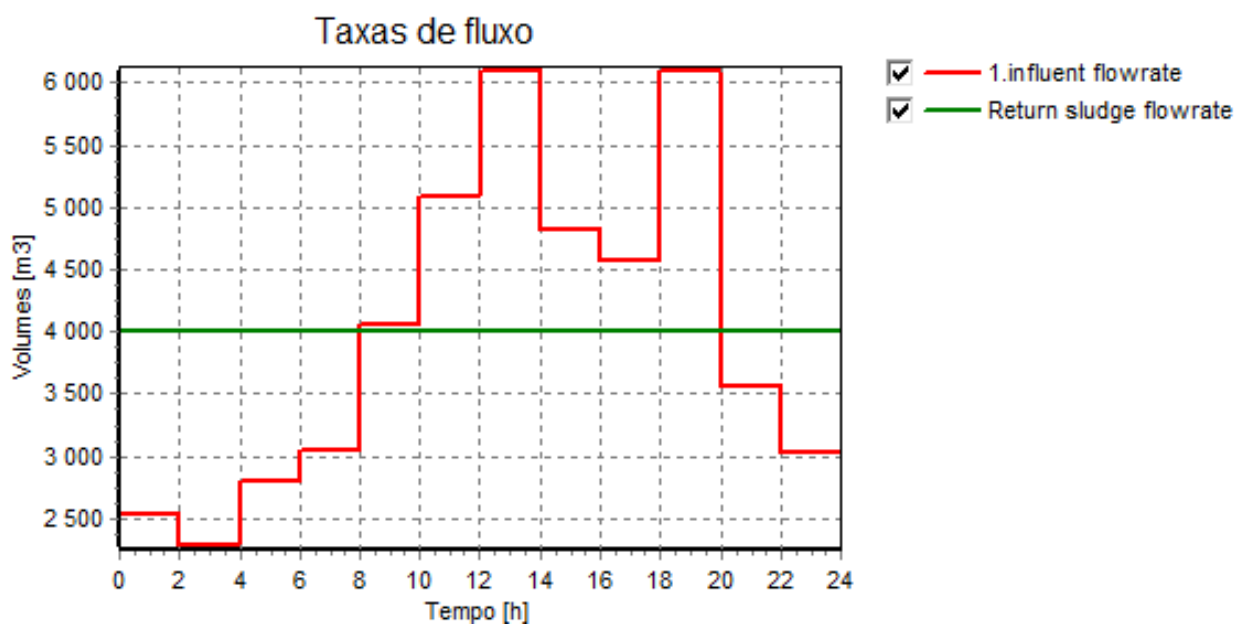


Figura 3.16 – Caudal afluyente de água residual na ETAR em estudo (Período: 24 horas)

Na Figura 3.16 e no Quadro 3.6 é possível verificar a variação do caudal afluyente determinada para o estudo da presente ETAR.

Quadro 3.6 – Variação do caudal ao longo do dia na ETAR em estudo (Cenário 1)

Intervalo de tempo (h)	Caudal (m³/d)
0-2	2540
2-4	2284
4-6	2792
6-8	3048
8-10	4064
10-12	5080
12-14	6096
14-16	4824
16-18	4572
18-20	6096
20-22	3556
22-24	3035

A ETAR foi dimensionada para um caudal médio diário de 4000 m³/dia. Ao longo de um dia (24 horas) verifica-se que existem oscilações do caudal de entrada em que esse acima do caudal de projeto ou abaixo desse mesmo. É possível verificar que no período da noite, das 20 h até as 4 h da manhã há um decréscimo de carga de afluyente onde se espera que a população encontra-se num período de descanso, diminuindo

a descarga de água residual. Os maiores picos de afluente acontecem em períodos de alimentação seja no almoço ou noite, onde se espera maiores atividades domésticas. Pela observação do gráfico, o caudal máximo é, então, de 6096 m³/dia e o mínimo de 2284,40 m³/dia.

3.2.3 Concentrações poluentes na água residual

No ponto deste capítulo, irão ser apresentados os gráficos referentes aos vários parâmetros de grande importância na caracterização da água residual. A variação das concentrações dos parâmetros ao longo dia (24 horas) foi previamente determinada. No Quadro 3.7 são apresentadas essas variações por parâmetro tomando por base a informação fornecida no tutorial do Software:

Quadro 3.7 – Variação das concentrações dos diversos parâmetros ao longo do dia na ETAR em estudo (Cenário 1)

Intervalo de tempo (h)	SST (g/m ³)	Frações CQO (g/m ³)	Azoto amoniacal (g/m ³)
0-2	2540	73.7	20.70
2-4	2284	57.7	15.53
4-6	2792	145.3	10.35
6-8	3048	248.6	23.21
8-10	4064	345.3	46.74
10-12	5080	474.9	31.05
12-14	6096	467.6	26.71
14-16	4824	497.6	25.04
16-18	4572	408.2	23.21
18-20	6096	318.9	28.38
20-22	3556	211.9	25.88
22-24	3035	110.4	23.21

Nas figuras seguintes são representadas graficamente as concentrações de entrada variando ao longo do dia (24 horas) dos parâmetros em análise. Essas concentrações estão divididas pelo tipo de espécie: (i) dissolvidas (Figura 3.17) e (ii) particuladas (Figura 3.18).

Este estudo será, então, identificado como cenário 1, ou cenário de base, servindo dois propósitos principais: (i) de termo de comparação com os outros cenários simulados, (ii) para o dimensionamento do sistema de arejamento, cujas características principais se manterão, também, nos demais cenários simulados.

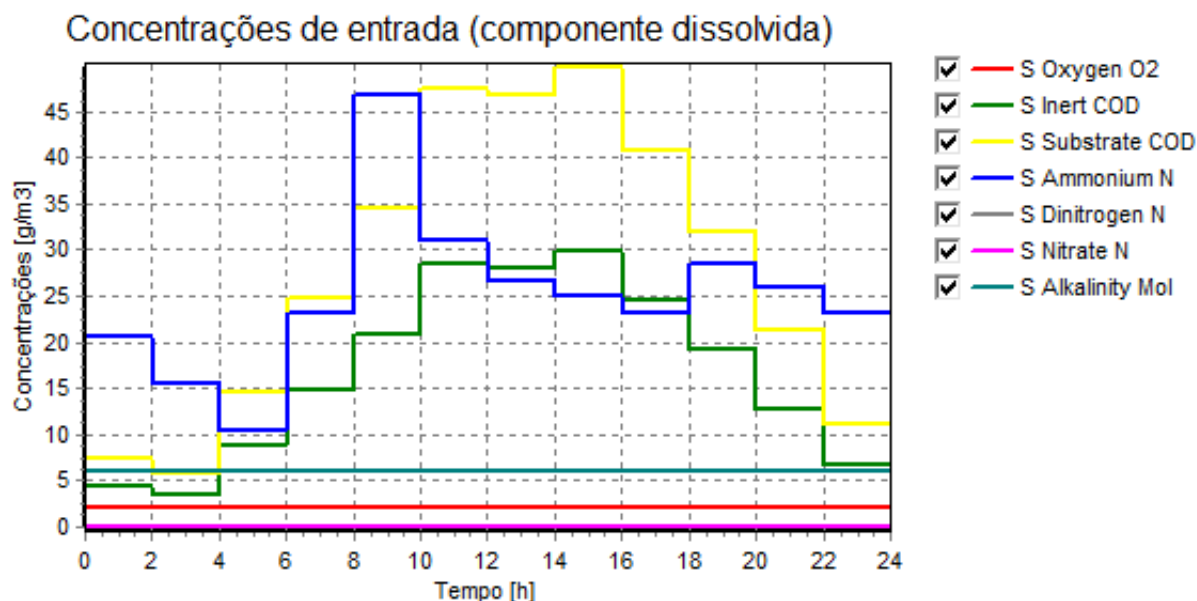


Figura 3.17 – Concentrações de entrada ao longo do dia dos variados parâmetros em estudo
(componente dissolvida)

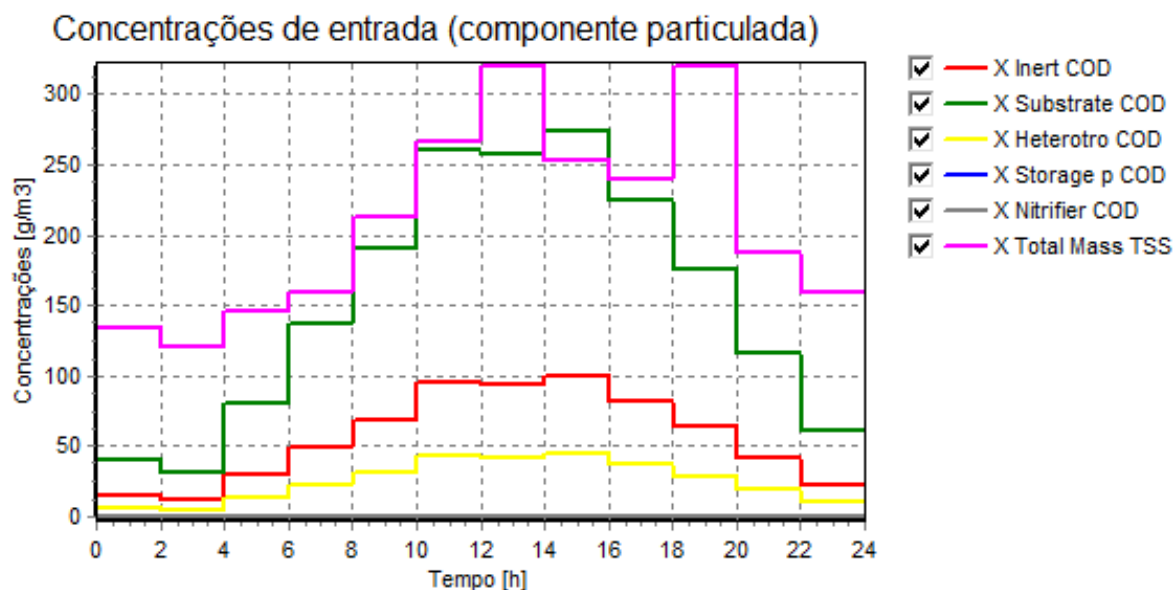


Figura 3.18 – Concentrações de entrada ao longo do dia dos variados parâmetros em estudo
(componente particulada)

3.2.4 Apresentação dos resultados: Cenário 1

Considerando a simulação da ETAR para as condições base apresentadas, resulta o cenário 1, que servirá de referência e termo de comparação aos demais cenários avaliados.

No *software* ASIM são, então, obtidos recolhidos os resultados referentes à modelação do processo biológico de lamas ativadas na ETAR em estudo durante o período definido de simulação e para as condições ambientais (temperatura) e características de caudal afluyente (caudais e cargas) definidos. Os resultados referentes ao Cenário 1 são mostrados e discutidos no presente capítulo, desde as características apresentadas, aos parâmetros do processo, após simulação.

Nos quadros abaixo estão apresentados detalhadamente os valores de concentrações dos diversos parâmetros em avaliação em cada reator e no decantador secundário no cenário 1 (de projeto). Não obstante, mais importante para o tema do presente trabalho, é feita, também a apresentação dos consumos de oxigénio em cada reator. Estes valores apresentados são referentes a 1 dia no Inverno (Quadro 3.8) e 1 dia no Verão (Quadro 3.9) após a ETAR alcançar o estado estável.

Quadro 3.8 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio do cenário 1 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Inverno)

	Unidade	Afluyente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.995	0.516	0.372	0.372
N amónia	g/m ³	25.000	6.702	2.138	0.466	0.467
N azoto	g/m ³	0.000	2.067	2.537	2.947	2.946
N nitratos	g/m ³	0.000	17.842	22.111	23.627	23.633
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	3.419	2.789	2.561	2.561
Inert CQO	g/m ³	56.000	1709.605	1712.218	1714.857	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	93.206	68.544	50.242	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1423.464	1429.514	1432.076	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	29.885	25.872	20.923	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	96.755	97.508	97.594	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3450.654	3437.824	3425.490	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		844.949	640.514	412.343	

A coluna do afluyente apresenta os dados de entrada de cada parâmetro (na fração de CQO os valores seguem um padrão definido para o modelo ASM3, no ponto 3.1 deste relatório é apresentado Quadro 3.1 que define esse padrão)

As necessidades totais de oxigénio deste cenário, no Inverno, são:

$$\text{Necessidades oxigénio} = 844,949 + 640,514 + 412,343 = 1897,806 \text{ Kg } O_2/d \quad (3.24)$$

Na Figura 3.19, podemos observar a variação da CQO ao longo dos três reatores, bem como a remoção do azoto amoniacal. Para o presente caso de estudo, no reator 1 as cargas de azoto amoniacal têm oscilações acentuadas principalmente na passagem de noite/dia. Pode-se verificar que o azoto é removido durante a sua passagem por todos os reatores da linha de tratamento. A CQO é principalmente alta no reator 1 no período das 12h às 20h quando são esperadas maiores atividades, em paralelo o crescimento da biomassa heterotrófica e dos microrganismos nitrificantes que segregam a matéria residual (e removem o azoto) são menores. Encontra-se aqui a relação entre oxigénio e microrganismos, o seu crescimento está relacionado com a disponibilidade de O_2 nos reatores.

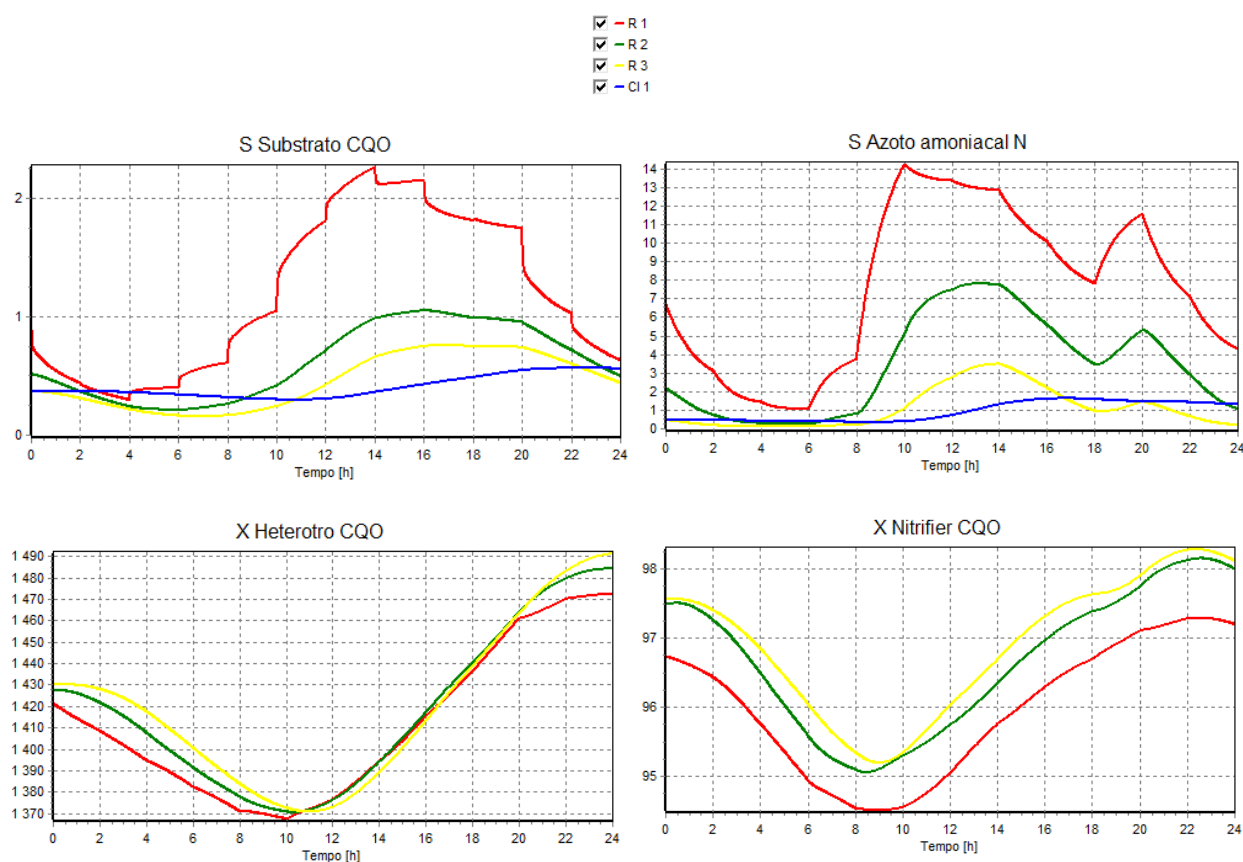


Figura 3.19 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 1 - Inverno)

Na Figura 3.20, pode-se verificar em detalhe a variação dos consumos de oxigénio nos reatores ao longo do tempo de estudo, que se revelam maiores durante o dia.

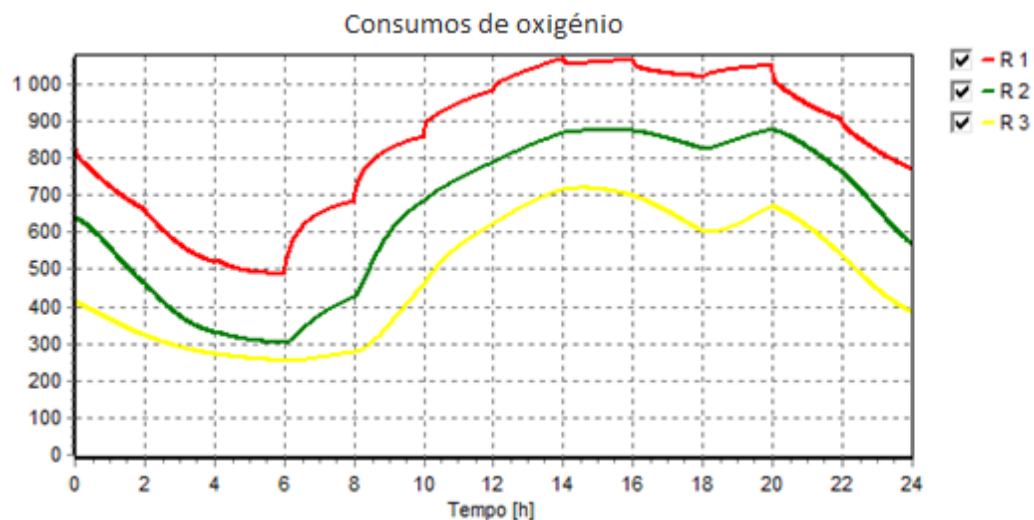


Figura 3.20 – Variação dos consumos de O₂ ao longo dos 3 reatores (Cenário 1 - Inverno)

A alteração da época sazonal Verão em comparação com a de Inverno do presente cenário é apresentada a seguir, pela avaliação e análise aos consumos de oxigénio e variação de nutrientes, CQO e SST.

Quadro 3.9 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio do cenário 1 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Verão)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.813	0.387	0.250	0.250
N amónia	g/m ³	25.000	3.180	0.412	0.101	0.101
N azoto	g/m ³	0.000	2.360	2.887	3.319	3.319
N nitratos	g/m ³	0.000	21.861	24.548	25.057	25.058
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	2.881	2.491	2.433	2.433
Inert CQO	g/m ³	56.000	1821.730	1825.182	1828.621	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	69.323	45.123	29.202	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	921.794	923.962	920.365	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	16.895	12.653	9.028	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	62.607	62.676	62.205	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3025.626	3009.533	2994.336	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		1154,056	582,109	374,395	

Os consumos de oxigénio no cenário 1 para a época sazonal de Verão já se revelam superiores, sendo esta situação mais gravosa.

$$Necessidades\ oxigénio = 1154,056 + 582,109 + 374,395 = 2110,560\ kg\ O_2/d \quad (3.25)$$

Sendo este caso o mais gravoso, em seguida, serão analisados individualmente cada parâmetro com a devida importância para a caracterização da água residual segundos as operações impostas.

Os nutrientes, azoto amoniacal e nitratos, têm uma grande importância nas características da água residual, pela influência na qualidade final do efluente.

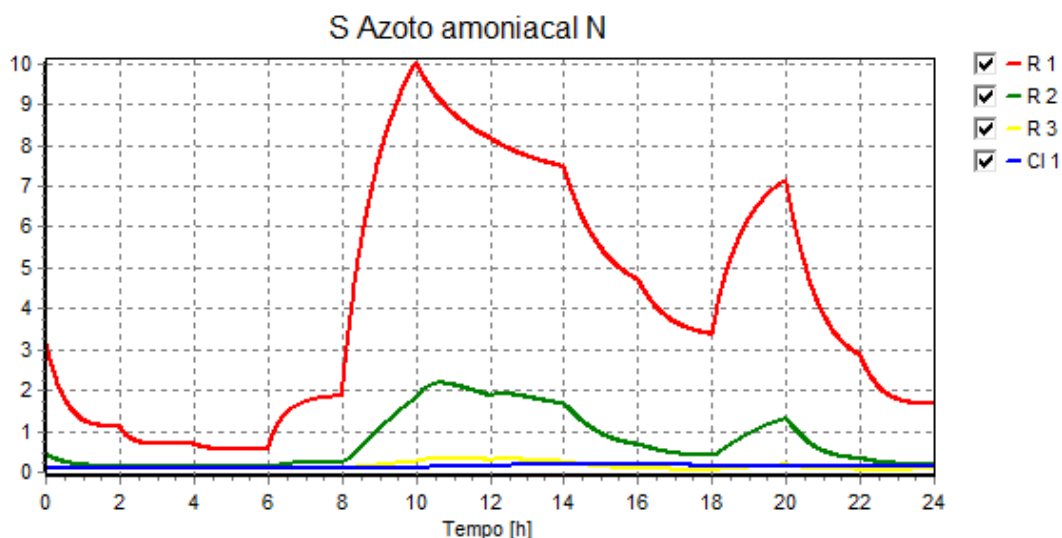


Figura 3.21 – Variação do azoto amoniacal nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

A remoção do azoto amoniacal vai sendo feita ao longo da linha de tratamento da ETAR. O que se pode verificar é que nos últimos reatores do sistema de arejamento o azoto é praticamente nulo.

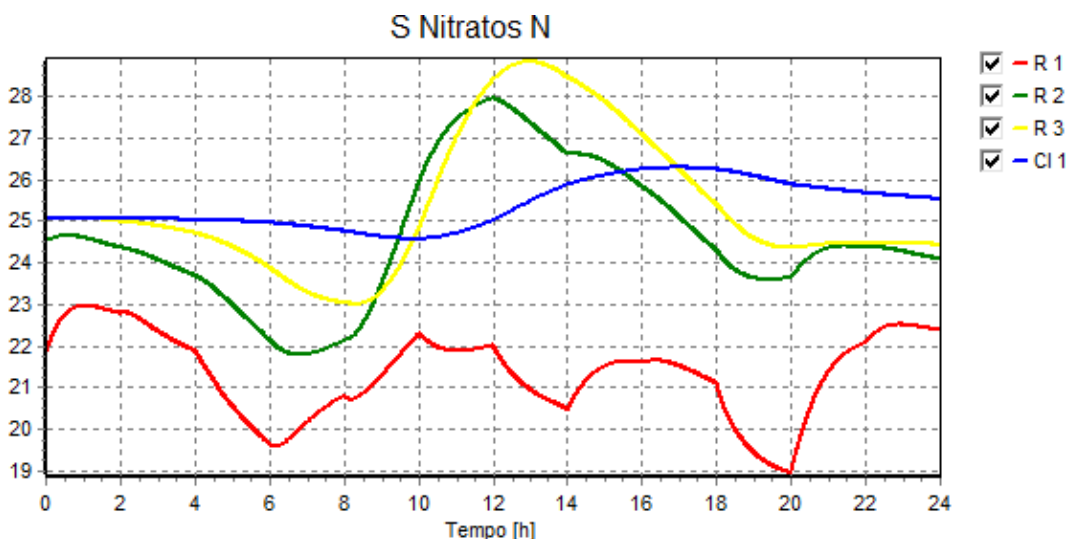


Figura 3.22 – Variação dos nitratos nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

Devido ao efeito da nitrificação pode-se verificar que os nitratos têm uma variação apostada ao azoto amoniacal. Isto é, como é objetivo da nitrificação o azoto amoniacal é oxidado (diminuem) formando como último resultado os nitratos. Os nitratos começam com uma variação média de 21,363 mg/l no reator 1 e 25,369 mg/l no reator 3 (Figura 3.22). No decantador secundário temos como valor de saída 24,400 mg/l.

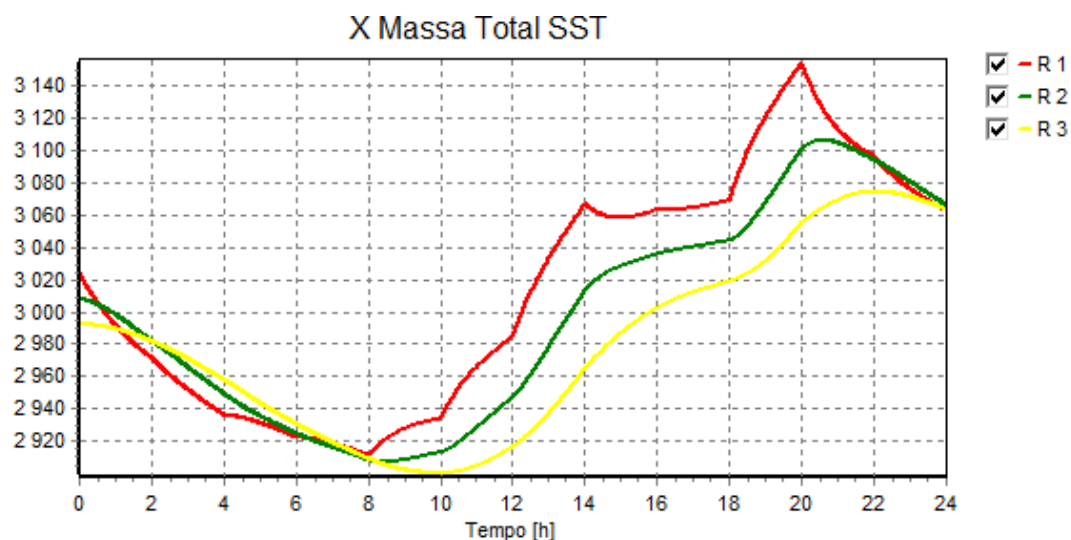


Figura 3.23 – Variação dos SST nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

A quantificação dos SST revela-se de grande importância na caracterização da água residual.

A partir da observação gráfica (Figura 3.23), podemos afirmar que no reator 1, a gama de concentração de SST encontra-se entre 2913,082 mg/l e 3155,476 mg/l. No reator 3 a média da concentração dos SST é 2980,041 mg/l. Esta variação tem que ver com as atividades e descargas para as ETAR que se revelam maiores durante o dia.

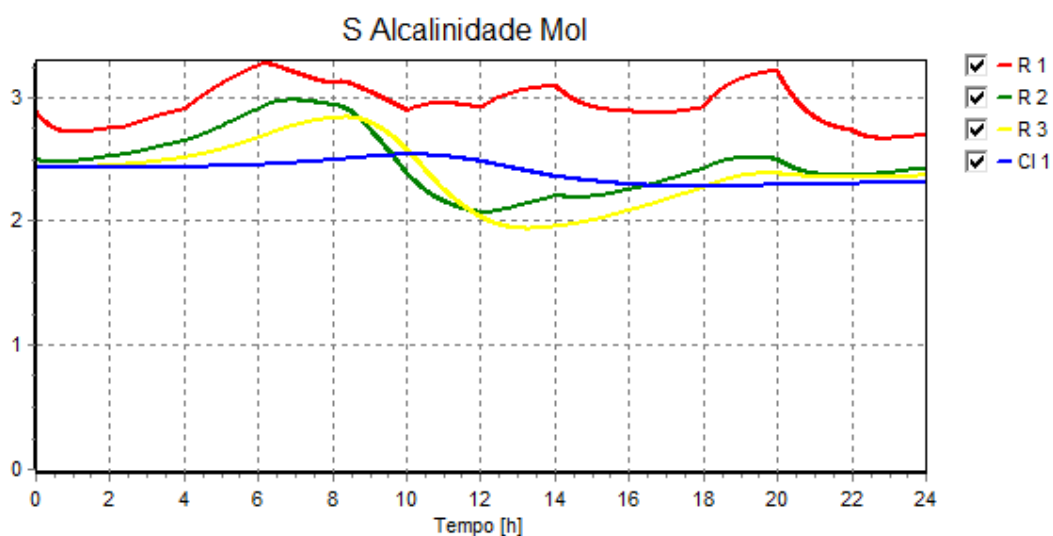


Figura 3.24 – Variação da alcalinidade presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

Na Figura 3.24 encontra-se a variação e os valores da alcalinidade nos reatores biológicos e o decantador secundário da ETAR em estudo. O afluente quando entra no reator apresenta um gama de valores entre 2,667 mol/l e 3,269 mol/l. No decantador secundário a média atinge o valor de 2,394 mol/l. Este parâmetro tem influência no pH. Quando a alcalinidade atinge valores baixo ela altera o pH da solução para valores mais baixos.

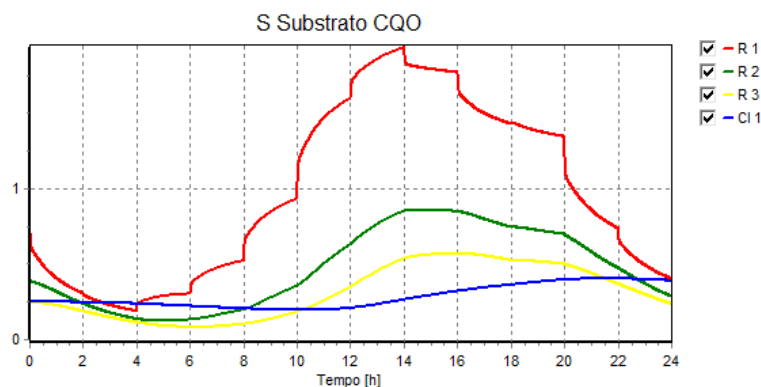


Figura 3.25 – Variação da CQO na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

Como se pode verificar pela observação das duas figuras (Figura 3.25 e Figura 3.26), no período de maior afluente a CQO aumenta o que despoleta também o crescimento da biomassa heterotrófica e dos microrganismos nitrificantes.

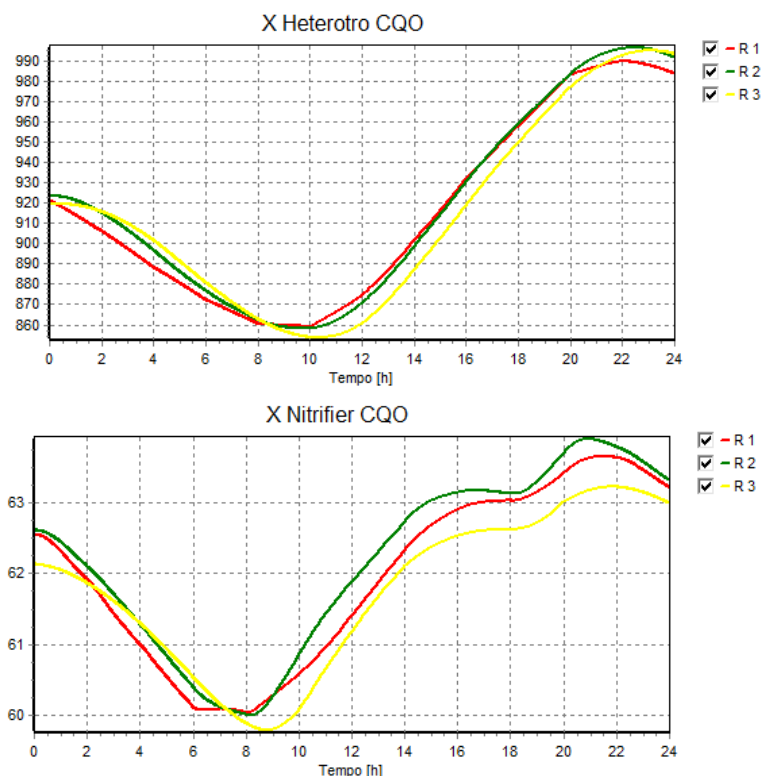


Figura 3.26 – Variação do crescimento de biomassa heterotrófica (cima) e dos microrganismos nitrificantes (baixo) na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

Com o aproximar da noite a CQO diminui, mas devido ao aumento dos microrganismos e a diminuição da SST (ver Figura 3.23) os microrganismos entram em fase endógena, alimentando-se de si mesmos (Figura 3.27).

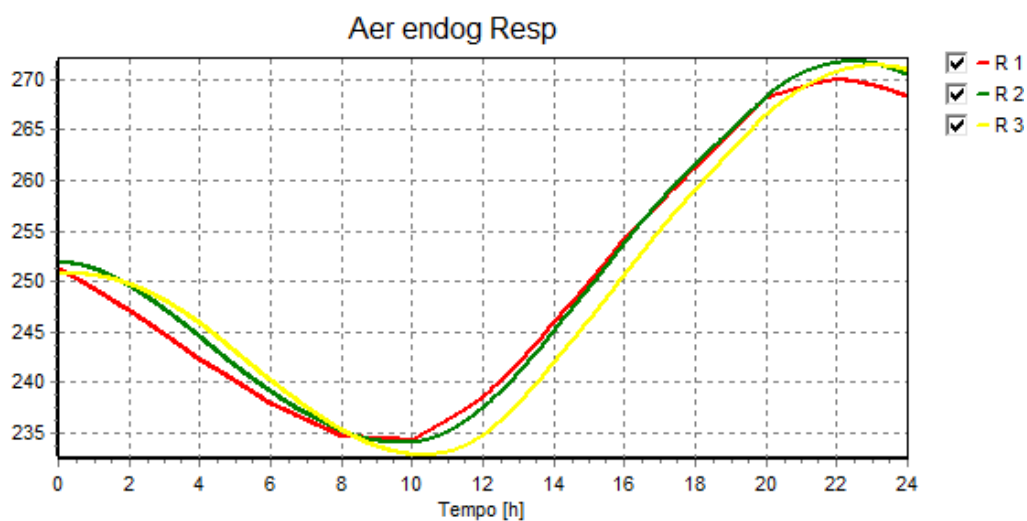


Figura 3.27 – Variação da respiração endógena feita pelos microrganismos nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

Na Figura 3.28, podemos verificar as taxas de consumo de oxigénio ao longo dos três reatores no período em estudo. No reator 3, os consumos são mais baixos devido ao trabalho de tratamento biológico feito à matéria orgânica nos 2 reatores a montante.

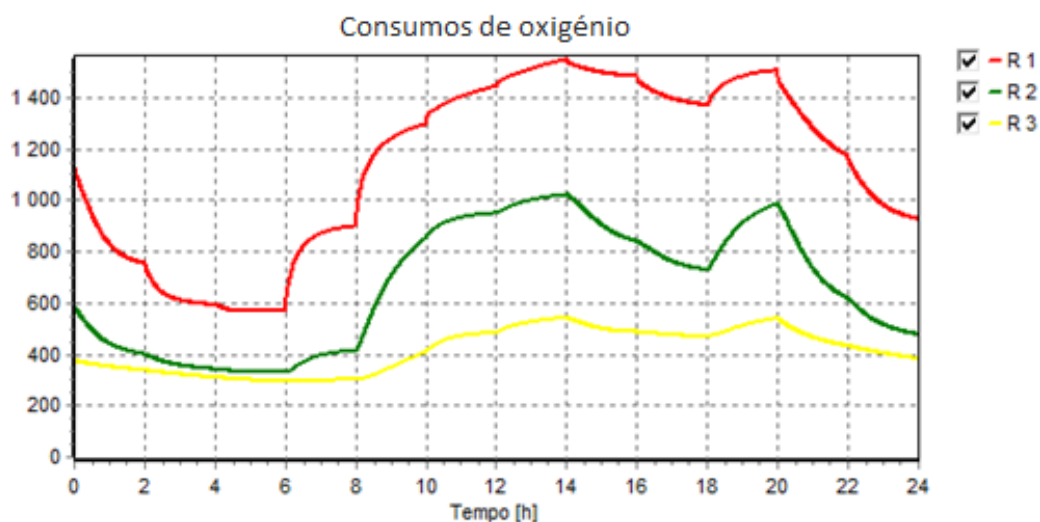


Figura 3.28 – Variação dos consumos de O_2 nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 1 - Verão)

Os consumos de oxigénio O_2 para o cenário 1, num ano, são apresentados no Quadro 3.10. Foi considerado o funcionamento de 24 horas e que um semestre (época sazonal) tem a duração de 180 dias.

A partir deste cenário, de projeto, poderemos passar à otimização energética dos sistemas de arejamento da presente ETAR com a comparação devida aos cenários simulados no capítulo 4 do presente relatório. Para esse efeito foi ainda considerada a definição de um sistema de arejamento com as principais características comuns entre os diferentes cenários, de acordo com o que se apresenta nos tópicos seguintes.

Quadro 3.10 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 1

	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /d)	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /sem)
Verão	1897,806	341605,1
Inverno	2110,560	379900,8
	Total (kg O ₂ /ano)	721505,9

3.3 FLUXO DE AR A FORNECER AO SISTEMA

Após quantificação das necessidades de oxigénio a fornecer ao sistema, a quantificação do fluxo de ar a fornecer ao sistema para satisfação das necessidades do tratamento biológico deverá seguir um processo de cálculo específico, considerando a definição do sistema por difusores de membrana (bolha fina), alimentados por sobrepessores de lóbulos rotativos apresentado no ponto anterior.

Inicialmente, é necessário determinar o nível de saturação de O₂, C_{STHr}, na água limpa do tanque de arejamento à temperatura T e altitude H. A temperatura T é a do licor misto e altitude é à qual se encontra a ETAR. Este nível de saturação é afetado pela concentração de oxigénio corrigido das condições temperatura de operação e por uma correção de metade da influência da pressão dos difusores e do oxigénio libertado do tanque:

$$C_{STHr} = (C_{STH}) \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{P_{atm,H} + P_{w,Effdepth}}{P_{atm,H}} + \frac{O_t}{21} \right) \quad (3.26)$$

onde:

C_{STHr} — concentração de oxigénio a altitude H_a e temperatura T em água limpa (mg/l);

C_{STH} — concentração de oxigénio a altitude e temperatura do licor misto de correção (mg/l);

P_{atm,H} — pressão atmosférica da água à altitude H_a e temperatura T;

P_{w,Effdepth} — pressão efetiva da profundidade (m);

O_t — concentração de oxigénio que deixa o tanque (assumir 19% quando não existem outros resultados que permitam uma melhor estimativa dessa percentagem) (%);

Para determinar C_{STH} é necessário determinar primeiro a pressão atmosférica influenciada pela altitude a que se encontra a ETAR, que é dada pela equação seguinte:

$$\frac{P_b}{P_a} = \exp \left[-\frac{gM \times (\delta_b - \delta_a)}{RT} \right] \quad (3.27)$$

onde:

g — constante gravidade = 9,81 m/s²;

δ — elevação (m);

M — moles de ar (consultar ANEXO II - Quadro 5.39) (kg/kg.mole);

R — constante universal de gás (8314 N.m/kg.mole.K);

T — temperatura do licor misto, (K);

O nível de saturação de O₂, C_{STHr}, depende do fator C_{STH} que por sua vez é o nível de saturação de O₂ afetado pela altitude da ETAR:

$$C_{STH} = C_{ST} \times \frac{P_b}{P_a} \quad (3.28)$$

onde:

C_{ST} — nível de saturação de O₂ de operação à Temperatura de operação;

Este último parâmetro pode ser consultado no apêndice D, tabela D-1, do Metcalf & Eddy (2003) (a consultar no ANEXO II - Quadro 5.41).

$$P_{atm,H} = \frac{\frac{P_b}{P_a} \times P_{atm}}{\gamma} \quad (3.29)$$

onde:

P_{atm} — pressão atmosférica = 101,325 x 10⁵ kN/m²;

γ — Peso específico γ da água à temperatura T , kN/m³

A pressão efetiva de profundidade depende da altura, em relação ao fundo do tanque de arejamento, a que se encontra a saída do ar (difusores):

$$P_{w,effdepth} = h - h_{dif}$$

onde:

h — altura do tanque de arejamento, (m)

h_{dif} — altura, em relação ao fundo do tanque, a que se encontra a saída do ar, (m)

(3.30)

A taxa de transferência de oxigénio para a temperatura T (SOTR) é determinada pela equação já referida no capítulo anterior permite determinar a taxa de fluxo de ar (Q_{ar}).

Por sua vez, a taxa de fluxo de ar requerida para suprimir as necessidades de arejamento do tratamento biológico é, então dada pela equação:

$$Q_{ar} = \left(\frac{SOTR}{E \times (60 \text{ min/h}) \times wO_2} \right) \quad (3.31)$$

onde:

Q_{ar} — taxa de fluxo de ar requerida, (m^3/min);

E — eficiência dos difusores

wO_2 — peso do oxigénio à temperatura T;

Para determinar o peso do oxigénio à temperatura T é necessário determinar a pressão à altitude H e densidade do ar à temperatura T:

$$Pr = \frac{P_b}{P_a} \times Patm \quad (3.32)$$

onde:

Pr — pressão, (kPa);

$$\rho = \frac{P \times 10^3 \times M}{R \times (273 + T)} \quad (3.33)$$

onde:

ρ — densidade do ar à temperatura T e pressão Pr, (kg/m^3);

A partir das necessidades de O_2 quantificadas pelo software ASIM foi, então, possível chegar aos seguintes valores de fluxo de ar requerido para o cenário 1 (Quadro 3.11).

Quadro 3.11 – Valores de taxa de fluxo de ar requerido para o cenário de projeto da ETAR de estudo

	Cenário	Taxa de fluxo de ar (m^3/min)	
		Inverno	Verão
Inverno/Verão	Cenário 1	35,74	42,44

De referir que no Anexo III se apresenta os resultados intermédios (fórmulas apresentadas nos pontos anteriores) até chegar à taxa de fluxo de ar.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AREJAMENTO

No presente ponto é pormenorizado o processo de dimensionamento do sistema de arejamento, passando pela definição do número de difusores necessários, a partir das necessidades de oxigénio determinadas pela simulação, à melhor disposição destes ao longo do reator biológico. São ainda apresentadas as fórmulas que permitem equacionar o consumo gasto pelos sobrepessores bem como a potencial poupança de energia e de custos pela alteração de potência dos sobrepessores nos diferentes hipotéticos cenários simulados.

3.4.1 Sistema de arejamento escolhido

O difusor de arejamento escolhido para o sistema de arejamento aplicar na ETAR de estudo é o *ABS Nopon Pik 300* (Figura 3.29). São difusores do tipo membrana – discos perfurados (Quadro 3.12). A escolha por este tipo de difusor incidiu pela eficiência que estes trazem ao sistema (já referido anteriormente no capítulo 2).



Figura 3.29 – Difusor *ABS Nopon Pik 300*

Quadro 3.12 – Propriedades do difusor

Intervalo de arejamento	1,5 – 8,0 m ³ /h
Nível do difusor	250 mm
Temperatura máxima do ar	100°C
Max/min profundidade	3 -5
Diâmetro do difusor	336 mm
Área da superfície da membrana	0,060 m ²
Tamanho das bolhas	1-3 mm

A eficiência do difusor é determinada a partir da Figura 3.30. No caso de estudo foi definido que cada difusor deve introduzir um caudal de ar de 7,0 m³/h. Como DD é 10,95%, a interseção entre o fluxo de ar de 7,0 m³/h e a curva DD deve ser acima mas próximo da curva DD 10 %, o que resulta numa eficiência de transferência de difusor de aproximadamente 26%.

$$DD = \frac{\text{área difusores}}{\text{área do fundo do tanque}} = \frac{412 \times \pi \times 0,168^2}{7 \times 47,65} \times 100 = 10,95\% \quad (3.34)$$

Standard oxygen transfer efficiency, SOTE

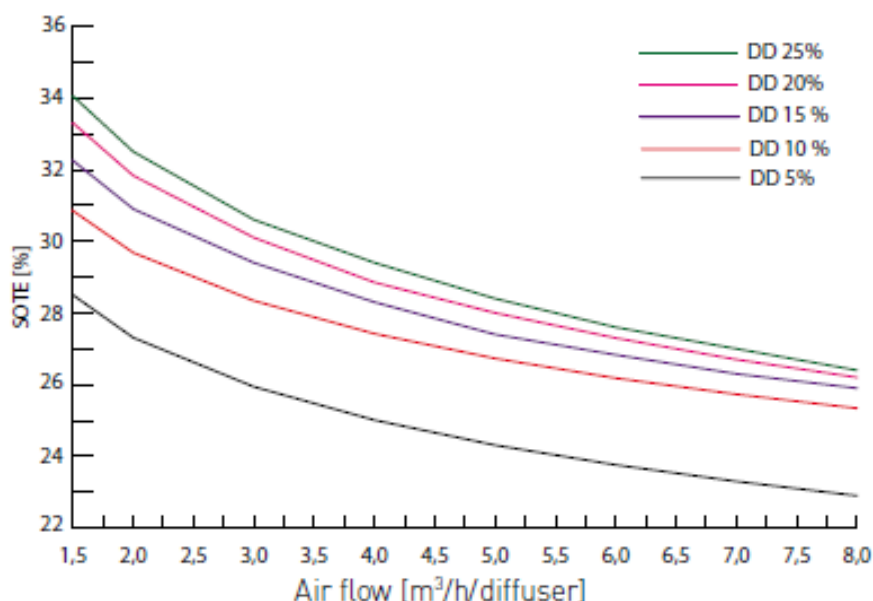


Figura 3.30 – Eficiência de arejamento do difusor (Sulzer, 2012)

3.4.2 Número e disposição dos difusores

Existem dois processos para dimensionar o sistema de difusores para o reator biológico. O primeiro consiste em considerar um valor de caudal unitário, de acordo com as características dos difusores e a partir do caudal de ar requerido, quantificar o número de difusores necessários e definir uma grelha depois disso que melhor se adequa às dimensões geométricas do tanque e do número de difusores adotados. O segundo processo consiste em definir uma grelha, isto é, o espaçamento a nível longitudinal e transversal, determinar um número de difusores e depois dividir o caudal de ar por esse número e verificar se o caudal unitário é compatível com a gama de funcionamento de difusores. Se isso não ocorrer é necessário alterar a grelha e consequentemente o número de difusores.

Escolhido o primeiro processo para dimensionamento, arbitrando um caudal unitário por difusor e partindo do caudal necessário a manter no sistema de arejamento podemos encontrar o número mínimo de difusores que permitam o arejamento no tanque a partir do quociente entre o caudal necessário e o caudal unitário do difusor tipo escolhido:

$$n = \frac{Q_{ar}}{Q_{ud}} \quad (3.35)$$

n — número de difusores necessários;

Q_{ar} — caudal de ar requerido (m³/h);

Q_{ud} — caudal unitário do difusor escolhido (m³/h);

De seguida, define-se as linhas de arejamento e o número de grelhas que constitui cada uma delas. Por sua vez, cada grelha é composta por um número de linhas de repartição, dispostas longitudinalmente, como mostra a Figura 3.31.

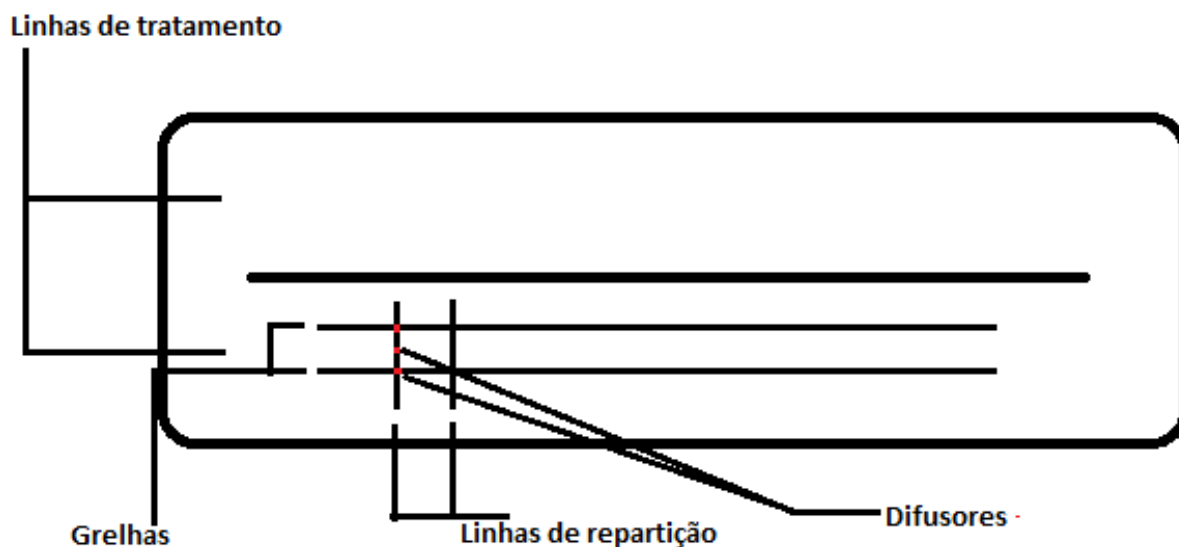


Figura 3.31 – Esquema representativo da malha geométrica

Definido o número de linhas, linhas de repartição e número de difusores é possível definir o espaçamento entre difusores a nível longitudinal e transversal:

$$dL = \left(\frac{C}{dLr + 1} \right) \quad (3.36)$$

$$dT = \left(\frac{L}{Lr + 1} \right) \quad (3.37)$$

onde:

dL — espaçamento entre eixos no sentido longitudinal (m);

dT — espaçamento entre eixos no sentido transversal (m);

dLr — número difusores por linha repartição;

Lr — número linhas de repartição por grelha;

No Quadro 3.13 é apresentado o dimensionamento do sistema de arejamento feito a partir das equações apresentadas num ponto do presente relatório. No Quadro 3.13 é apresentado o número de difusores necessários para o dimensionamento bem como a malha do sistema de arejamento definido. Para o dimensionamento do número de difusores e geométrico (malha) optou-se considerar as necessidades de Verão no cenário de projeto, porque é a situação mais gravosa.

Quadro 3.13 – Dimensionamento do sistema de arejamento para o cenário de projeto da presente ETAR de estudo

Números difusores (n)	N. Linhas (n)	Número de grelhas (n)	N. Linhas de repartição por grelha (n)	N. difusores por linha de repartição (n)	dL (m)	dT (m)	Potência elétrica (kW)
364,00	2	2	8	12,00	3,67	0,78	59,41

De referir que no Anexo IV se apresenta os resultados intermédios (fórmulas apresentadas nos pontos anteriores) até aos resultados apresentados neste ponto.

3.4.3 Consumo de energia - sobrepessores

Para determinar os consumos de energia do sobrepessor usado, é necessário determinar a potência unitária (isocórica) e a potência de arejamento. Não vai ser determinado neste estudo a potência de agitação, pois já é considerada a existência de equipamentos que garantem a circulação dos volumes acumulados no tanque e que garantem os níveis de mistura e agitação necessários. Para essa determinação é preciso, em primeiro lugar, achar o caudal mássico de ar a fornecer ao sistema, a pressão a garantir na compressão e aspiração, entre outros valores.

O caudal mássico corresponde à quantidade de ar, em massa, que é necessário garantir ao sistema, atendendo à variação da densidade do ar em função da temperatura e consequentemente variação do caudal volumétrico correspondente. Este valor é determinado a partir da seguinte equação:

$$w = Q_{ar} \times \rho_{TH} \quad (3.38)$$

onde:

w — caudal mássico de ar (kg/h);

Q_{ar} — caudal volumétrico de ar (m³/h);

ρ_{TH} — peso específico do ar, para uma dada temperatura (kg/m³);

Por outro lado, considerando uma pressão absoluta na aspiração de 0,95 atm (considerando alguma perda de carga na entrada dos sobrepessores) e uma pressão na compressão influenciada pelo nível de água acima dos difusores e pela taxa de perdas de carga, obtêm-se:

$$p_c = \frac{P_w}{10} \times \left(1 + \frac{p_r}{100}\right) - 1 \quad (3.39)$$

onde:

p_c — pressão na compressão (atm);

p_r — taxa admitida para estimativa da parcela de perdas de carga (%);

A potência isocórica é determinada através da diferença de pressão da aspiração e compressão e é, também, influenciada pela temperatura na aspiração, tal como o caudal mássico:

$$P_{th} = \frac{Q_0 \times \Delta p}{600} \quad (3.40)$$

onde:

P_{Th} — potência teórica isocórica (m^3/min);

Q_0 —caudal teórico na aspiração (m^3/min);

Δp — diferencial de pressão aspiração e compressão (mbar);

A potência elétrica é determinada pelo quociente entre a potência isocórica e o produto da eficiência global que se divide na eficiência do motor (0,95), eficiência do variador (0,975) e eficiência do sobrepressor (0,65), optando-se por um valor de 0,65 de eficiência global deste produto:

$$P_{telec} = \frac{P_{th}}{0,65} \quad (3.41)$$

Determinada a potência teórica elétrica é possível determinar as potências anteriormente referidas e o caudal específico que permitem escolher o compressor necessário:

$$P_{arej} = \frac{O_2}{P_{elec}} \quad (3.42)$$

onde:

P_{arej} —potência arejamento ($kg\ O_2/kWh$);

A energia gasta pelos sobrepressores para o arejamento é calculada, para efeito do presente projeto, considerando o funcionamento do sistema 24 horas e que cada semestre (época sazonal) são 180 dias:

$$Energia = P_{telec} \times F_d \times F_h \quad (3.43)$$

onde:

Energia—consumo de energia do cenário em estudo por ano (kWh/ano);

F_d —funcionamento do sistema durante um período de tempo (dias);

F_h —funcionamento do sistema durante um dia (horas);

Os custos associados à energia gasta pelos sobrepressores é afetada por uma tarifa considerada por hora:

$$Custos = Energia \times preço\ tarifa \quad (3.44)$$

onde:

Custos — custos de energia gasta no período de tempo estudado (€);

Preço tarifa — preço da tarifa pela energia gasta (€/kWh);

A poupança em termos de energia pela otimização feita é determinada pela diferença entre a energia gasta pelo cenário de referência e a energia gasta pelo cenário de otimização simulado. Em termos monetários é seguido o mesmo conceito.

3.5 QUANTIFICAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA

Nos dois quadros seguintes são apresentadas as potências unitária e de arejamento para o cenário 1 que servirá de referência aos restantes cenários simulados. No Quadro 3.14 são apresentadas as potências por hora afeta à época sazonal e no Para efeitos de cálculo do presente relatório considera-se o funcionamento do sistema 24 horas e que cada época sazonal tem 180 dias.

Quadro 3.15 as potências gastas num ano.

Quadro 3.14 – Gastos energéticos referentes ao cenário de projeto por hora

Cenário	Época Sazonal	Potência elétrica (kW)	Potência específica de arejamento (kg O ₂ /kWh)
Cenário 1 (Projeto)	Inverno	50,02	1,48
	Verão	59,41	1,58

Para efeitos de cálculo do presente relatório considera-se o funcionamento do sistema 24 horas e que cada época sazonal tem 180 dias.

Quadro 3.15 – Gastos energéticos referentes ao cenário de projeto para um ano (Época Inverno e Verão)

Cenário 1 (Projeto)	Energia (kWh/ano)	Energia arejamento (kWh/ano)
Inverno	216086,4	6394,73
Verão	256651,2	6829,43
Total	472737,6	13224,16

Para o cálculo dos gastos monetários com os sobrepressores (Quadro 3.16) foi considerado o custo de 0,12 €/kWh em ambas épocas sazonais (Inverno e Verão). Posteriormente no capítulo 4 do presente cenário serão determinados as poupanças monetárias dos cenários hipotéticos simulados em relação ao cenário 1, tendo em conta os custos de potência:

Quadro 3.16 – Custos da energia gasta pelos sobrepressores (Época Inverno e Verão)

Cenário	Época cenário	Custos (€/sem)
Cenário 1	Verão	30798,14
	Inverno	25930,37
Total (€/ano)		56728,51

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo será apresentado o resultado de diversas simulações de cenários que servirão de estudo de referência à otimização do sistema de arejamento definido no capítulo 3 anterior.

4.1 COMPARAÇÃO COM OUTROS CENÁRIOS DE ESTUDO

Para comparação e aplicabilidade do *software* foram definidos cenários onde se efetuam reduções de alguns parâmetros ou implantados mecanismos de controlo, de modo a avaliar possíveis poupanças a nível dos custos energéticos. Os cenários definidos são:

- Cenário 1: cenário de referência, já apresentado anteriormente. Corresponde às condições iniciais (de base) da ETAR em estudo para o período de estudo de um ano, contemplando-se a variação dos consumos entre as épocas sazonais Verão/Inverno. Este cenário servirá de referência como comparação a todos os outros cenários hipotéticos apresentados.
- Cenário 2: corresponde à simulação dinâmica, considerando a variação da temperatura ao longo de um dia (dia versus noite) em relação às épocas sazonais Verão/Inverno. Permite avaliar o potencial de otimização teórico de ajuste às reais necessidades, variáveis ao longo do dia em função da variação da temperatura.
- Cenário 3: corresponde à simulação dinâmica, considerando a receção reduzida de concentrações de CQO (30%), ou seja, uma diminuição da matéria orgânica, em relação às épocas sazonais Verão/Inverno. Permite avaliar o potencial de otimização teórico de ajuste às reais necessidades, se houver uma diferença significativa de carga orgânica, face ao previsto em projeto.
- Cenário 4: corresponde à simulação dinâmica, considerando a receção reduzida de afluente (40%), em relação às épocas sazonais Verão/Inverno. Permite avaliar o potencial de otimização teórico de ajuste às reais necessidades, se houver uma diferença significativa de caudal, face ao previsto em projeto.
- Cenário 5: corresponde à simulação dinâmica, considerando que existem algoritmos de controlo manual, em relação às épocas sazonais Verão/Inverno. Permite avaliar o potencial de otimização teórico de ajuste às reais necessidades. Permite avaliar o potencial de otimização teórico de ajuste às reais necessidades a partir da monitorização do sistema com a introdução de mecanismos de

ajuste (neste caso pela introdução de uma monitorização por leis de regulação da potência dos sobrepressores).

- Cenário 6: corresponde à simulação dinâmica, considerando que existem algoritmos de controlo *On/Off*, em relação às épocas sazonais Verão/Inverno. Permite avaliar o potencial de otimização teórico de ajuste às reais necessidades a partir da monitorização do sistema com a introdução de mecanismos de ajuste (neste caso pela monitorização *On/Off* que desliga o sistema (sobrepressores) quando é atingido um determinado valor definido para avaliação.
- Cenário 7: corresponde à simulação dinâmica, considerando a adição do procedimento de desnitrificação, em relação às épocas sazonais Verão/Inverno

4.1.1 Cenário 2

A simulação do presente cenário contempla a mudança de temperatura de operação ao longo do período estudado, um dia (24 horas). A temperatura, como referido, na parte teórica do presente relatório interfere com os consumos de oxigénio, sendo que em temperaturas mais altas é consumido mais oxigénio e em temperaturas mais baixas esse consumo é menor. As condições iniciais são mantidas iguais ao cenário 1, de comparação, alterando a variação da temperatura do afluente ao longo do período de estudo. Primeiramente será apresentado a alteração referente à época sazonal de Inverno e em seguida de Verão. É pretendido verificar posteriormente, a partir da análise dos consumos retirados do *software* no presente ponto, a adaptação possível da potência dos sobrepressores à variação de temperatura apresentada ao longo do período estudado e por consequente às necessidades reais de O_2 .

4.1.1.1 Análise Cenário 2 - Inverno

A variação de temperatura ao longo do dia (período estudado) na época de Inverno pode ser consultada no Quadro 4.1 e via gráfica na Figura 4.1 a seguir:

A média de temperatura de operação é a mesma definida para o cenário 1 – Época de Inverno, ou seja, 10 °C, mas a temperatura ao longo do dia é variada. O estudo deste cenário verificará as necessidades de O_2 resultantes desta variação. No ponto 4.2 e 4.3 se verificará as consequências da adaptação do sistema a essa variação, ou seja, se é possível reduzir potência de sobrepressores.

Quadro 4.1 – Variação da temperatura de operação ao longo do dia (cenário 2 - Inverno)

Tempo (hrs)	Temperatura (°C)	Diferença de temperatura
0 – 2	7,5	-2,5
2 – 4	5	-5
4 – 6	4,5	-5,5
6 - 8	5,5	-4,5
8 – 10	8	-2
10 – 12	11	+1
12 -14	13,5	+3,5
14 – 16	16	+6
16 - 18	15,5	+5,5
18 – 20	13	+3
20 – 22	11,5	+1,5
22 – 24	9	-1
	Média	Diferença de temperatura
	10,0	0,0

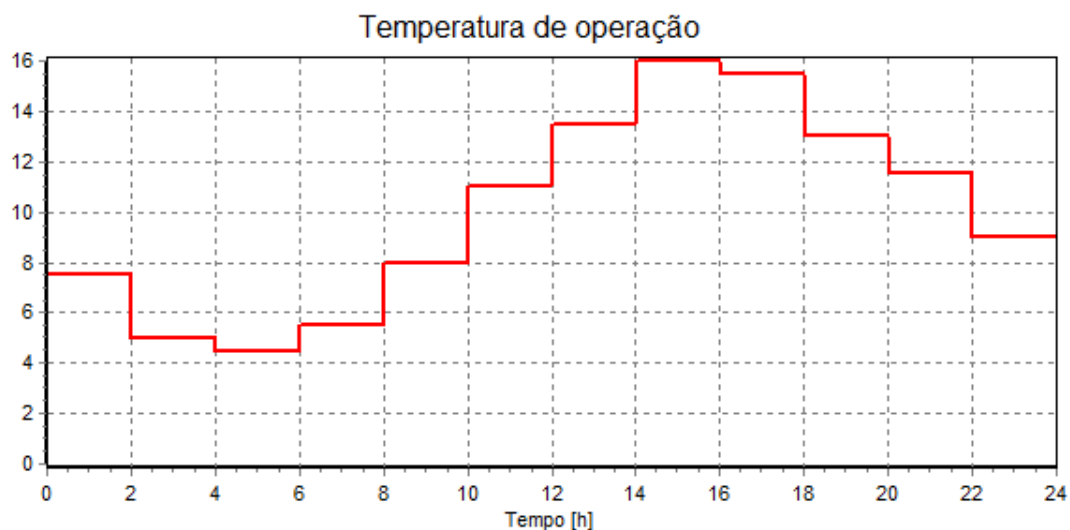


Figura 4.1 – Variação da temperatura de operação na ETAR ao longo de um dia (cenário 2 - Inverno)

O resultado da variação da temperatura do afluente através da simulação feita pelo *software* pode ser verificado no Quadro 4.2 a seguir:

Quadro 4.2 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 2 - Inverno)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.076	18.191	20.118	20.246
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.591	0.451	0.391	0.456
N amónia	g/m ³	25.000	4.560	1.207	0.251	0.595
N azoto	g/m ³	0.000	2.614	3.131	3.623	3.235
N nitratos	g/m ³	0.000	19.419	22.954	24.005	24.368
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	3.114	2.582	2.413	2.427
Inert CQO	g/m ³	56.000	1724.795	1736.536	1745.574	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	67.781	60.734	53.156	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1468.963	1480.751	1488.015	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	28.005	27.192	25.185	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	96.755	97.585	97.712	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3475.802	3482.947	3483.265	
Consumo de oxigénio	(Kg/d)		754.620	562.921	379.953	

Neste cenário, em que se contempla a variação da temperatura de operação, os consumos totais de oxigénio são:

$$\begin{aligned}
 \text{Necessidades oxigénio} &= 754,620 + 562,921 + 379,953 = 1697,494 \\
 &< 1897,806 \text{ kg O}_2/\text{d}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Essa variação da temperatura de operação permite a redução dos consumos de O₂. Pela observação da Figura 4.2, pode-se verificar que a variação da curva dos diversos parâmetros aqui contemplados na análise mantém-se a mesma em comparação com o cenário 1 para a mesma época homóloga, mas a gama de valores é mais baixa. O crescimento de microrganismos nitrificantes é mais acentuado num período de tempo mais alargado do que no cenário 1 devido às temperaturas mais altas a acontecer nesse período (14-20h).

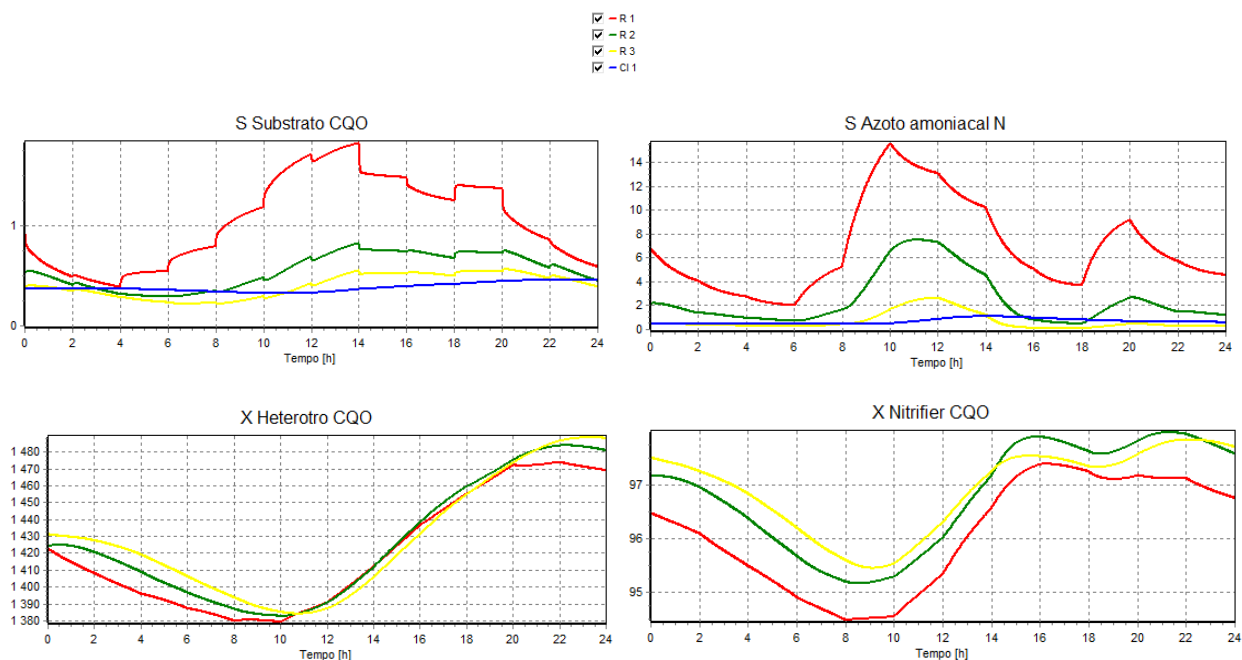


Figura 4.2 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 2 - Inverno)

Como se verifica na Figura 4.3 as necessidades de oxigénio oscilam bastante consoante a temperatura de operação que chega ao tratamento biológico. Nos períodos de temperaturas mais altas essas necessidades tendem a aumentar.

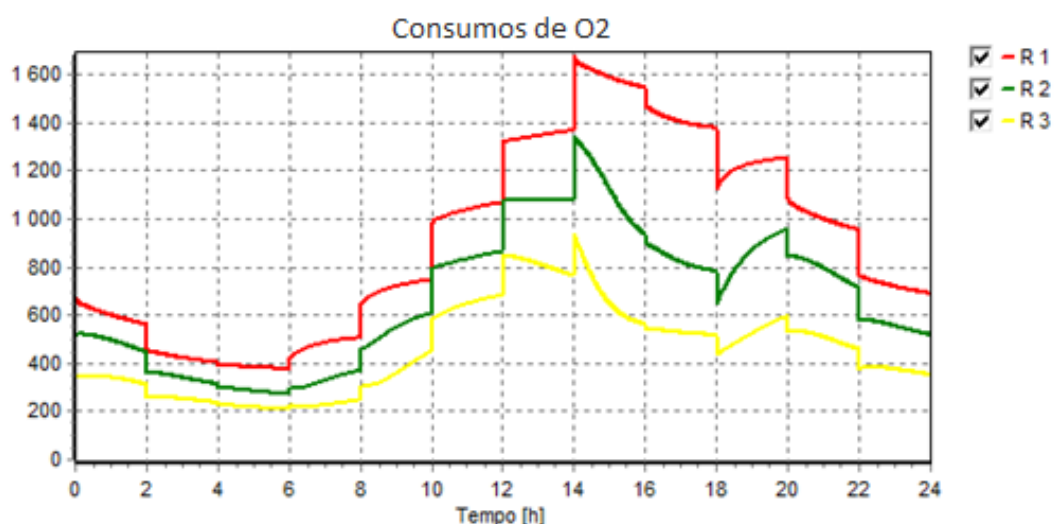


Figura 4.3 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 2 - Inverno)

4.1.1.2 Análise Cenário 2 - Verão

O estudo da mudança de temperatura ao longo do dia na época de Verão, para posterior verificação da adaptação dos sobrepressores a esta mudança, é analisado a seguir.

A variação de temperatura ao longo do dia na época de Verão, no cenário 2, pode ser consultada no Quadro 4.3 e via gráfica na Figura 4.4 a seguir. A média da temperatura ao longo do dia mantém-se igual à temperatura de operação definida para o cenário de referência, mas a temperatura é alterada ao longo do dia com oscilações que são superiores ou inferiores a essa (20°C).

Quadro 4.3 – Variação da temperatura do afluente ao longo do dia no presente cenário (cenário 2 - Verão)

Tempo (hrs)	Temperatura (°C)	Diferença de temperatura
0 – 2	16,5	-3,5
2 – 4	15	-5
4 – 6	13,5	-6,5
6 - 8	12	-8
8 – 10	16,5	-3,5
10 – 12	23	+3
12 -14	25,5	+5,5
14 – 16	27,5	+7,5
16 - 18	27	+7
18 – 20	24	+4
20 – 22	21	+1
22 – 24	18,5	-1,5
	Média	Diferença de temperatura
	20	0,000

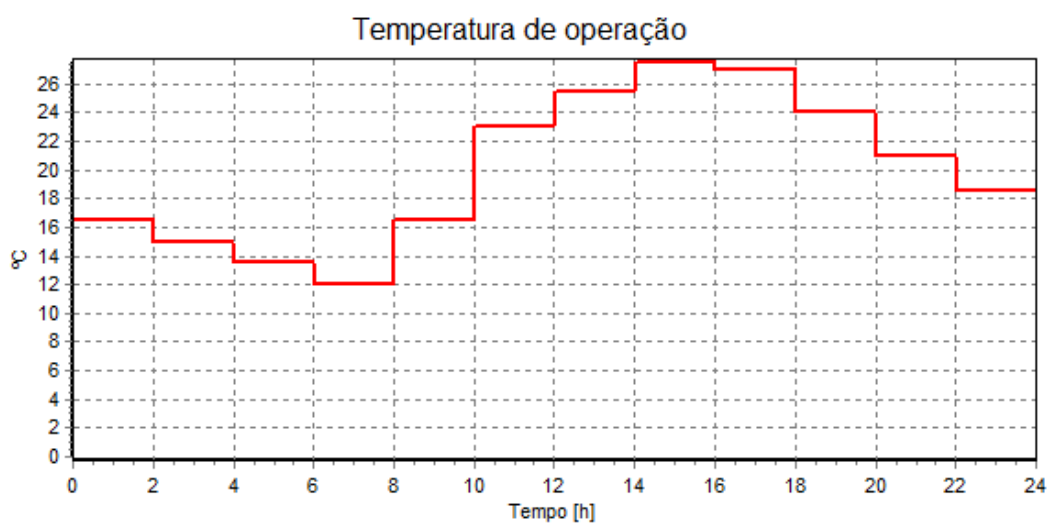


Figura 4.4 – Variação da temperatura de operação na ETAR ao longo de um dia (cenário 2 - Verão)

O resultado da variação da temperatura de operação através da simulação feita pelo *software* pode ser verificado no Quadro 4.4 a seguir:

Quadro 4.4 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 2 - Verão)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.090	18.211	20.138	20.190
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.404	0.273	0.218	0.287
N amónia	g/m ³	25.000	2.227	0.317	0.101	0.106
N azoto	g/m ³	0.000	2.924	3.501	4.048	3.749
N nitratos	g/m ³	0.000	22.746	25.063	25.662	25.845
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	2.709	2.367	2.283	2.287
Inert CQO	g/m ³	56.000	1838.524	1851.243	1861.157	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	39.417	32.082	25.653	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	962.496	970.321	972.127	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	11.204	10.052	8.702	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	61.601	61.791	61.474	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3041.998	3045.361	3042.245	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		967.447	513.048	378.940	

Neste cenário, em que se contempla a variação da temperatura do afluente, os consumos totais de oxigénio são:

$$\begin{aligned} \text{Necessidades oxigénio} &= 967,447 + 513,048 + 378,940 = 1859,435 \\ &< 2110,560 \text{ kg O}_2/d \end{aligned} \quad (4.2)$$

Essa variação da temperatura de operação traduziu-se na redução à volta de 10% dos consumos de O₂. Mesmo considerando que se encontrava numa época sazonal de Verão, é possível verificar que a simples mudança de temperatura em períodos de dia, não admitindo a temperatura constante de 20°C já interfere com os consumos. De notar, que em 12 horas do período de estudo (24 horas) a temperatura era mais alta que a temperatura de operação definida (Figura 4.4).

Pela observação da Figura 4.5, pode-se verificar que o crescimento da biomassa heterotrófica e dos microrganismos nitrificantes é inferior no período em que a temperatura atinge o valor mais baixo, esta relação da temperatura com a proliferação dos microrganismos foi explicada no presente relatório no

capítulo 2. Essa diminuição de microrganismos que segregam a matéria orgânica leva a que o azoto possa se desenvolver mais como se verifica para o mesmo período homónimo na Figura 4.5 no gráfico referente ao azoto amoniacal, o mesmo acontece com as necessidades de CQO.

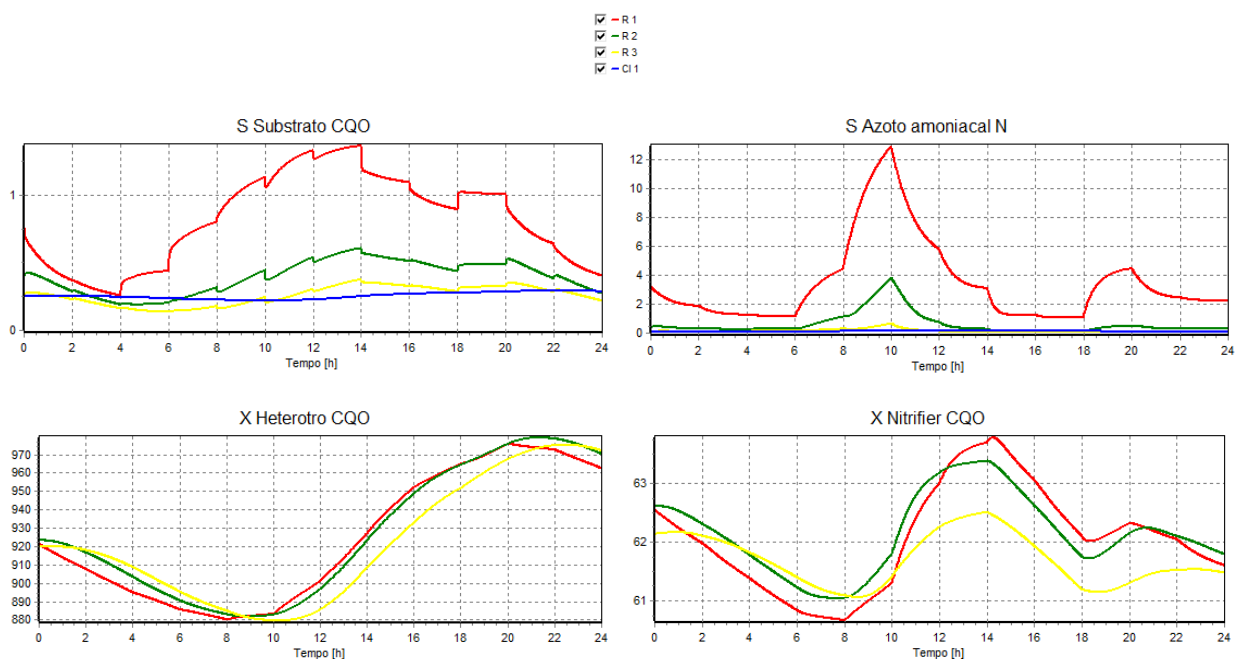


Figura 4.5 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 2 - Verão)

Como se verifica na Figura 4.6 as necessidades de oxigénio oscilam bastante consoante a temperatura de operação no afluente que chega ao tratamento biológico. Nos períodos de temperaturas mais altas essas necessidades tendem a aumentar.

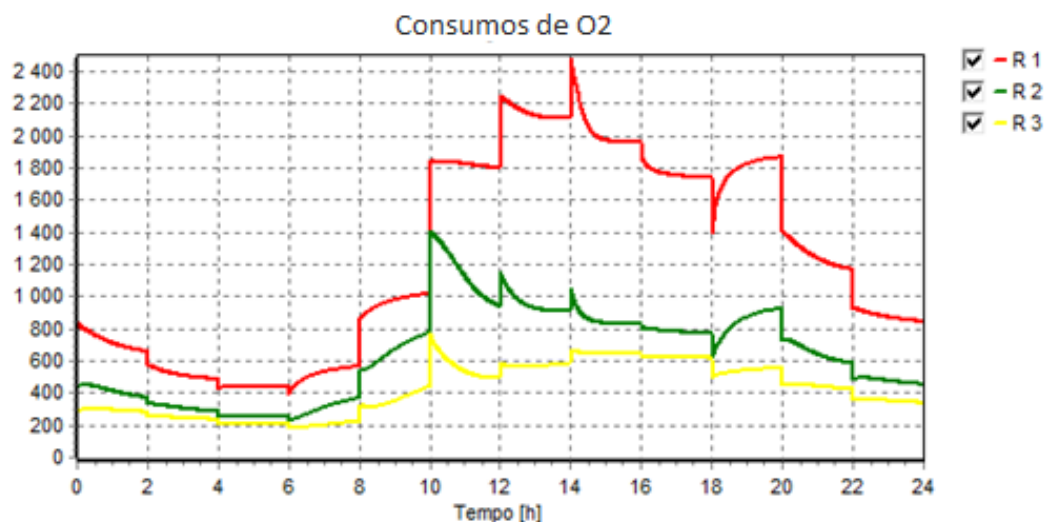


Figura 4.6 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 2 - Verão)

Findo a análise possibilitada pelo *Software* ASIM, é possível verificar que no tratamento secundário as necessidades de O₂ em adaptação à variação da temperatura ao longo do tempo são menores do que quando é considerada a mesma temperatura de operação no mesmo período de funcionamento. O resumo dos consumos de O₂ feitas pelo cenário nas épocas de Inverno e Verão pode ser consultado no Quadro 4.5. Esta questão realça a importância de ajuste do sistema de arejamento às reais necessidades de O₂ no tanque. As poupanças poderão ser significativas face à definição de um modo de funcionamento único dos sobrepessores ao longo do tempo.

Quadro 4.5 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 2

	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /d)	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /sem)
Inverno	1697,494	305548,9
Verão	1859,435	334698,3
	Total (kg O ₂ /ano)	640247,2

4.1.2 Cenário 3

No cenário 3 é simulada a diminuição da CQO, o que se traduz pela simulação de que a matéria orgânica que aflui ao tratamento biológico da ETAR em estudo é menor. Foi preconizada a diminuição em 30% da CQO (Consultar ANEXO I - Quadro 5.7, Quadro 5.8, Quadro 5.17, Quadro 5.18). As condições iniciais restantes são mantidas iguais às do Cenário 1 (incluindo a temperatura de operação para cada época sazonal em estudo). Mais uma vez, é esperado que a mudança deste parâmetro de operação traduza-se em menores consumos de oxigénio, a ser observado nos Quadro 4.6 e Quadro 4.7, para Inverno e Verão respetivamente.

4.1.2.1 Análise Cenário 3 – Inverno

A presente análise contempla a diminuição de CQO com temperatura de Inverno (10°C). São apresentados no Quadro 4.6 abaixo os consumos de oxigénio para esta simulação. Esta análise permitirá a verificação da adaptação às reais necessidades de O₂ às considerações alteradas.

Quadro 4.6 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 3 - Inverno)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	11.409	12.920	14.303	15.783
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.459	0.362	0.319	0.420
N amónia	g/m ³	25.000	4.513	1.266	0.278	1.366
N azoto	g/m ³	0.000	2.010	2.404	2.771	2.667
N nitratos	g/m ³	0.000	20.006	23.568	24.770	24.333
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	3.068	2.541	2.360	2.485
Inert CQO	g/m ³	56.000	1671.964	1684.000	1693.921	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	51.937	47.088	41.851	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1375.279	1386.351	1394.043	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	21.437	20.913	19.533	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	97.390	98.204	98.357	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3503.161	3510.827	3511.222	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		704.297	526.542	348.559	

$$\begin{aligned}
 \text{Necessidades oxigénio} &= 704,297 + 526,542 + 348,559 = 1579,398 \\
 &< 1897,806 \text{ kg O}_2/\text{d}
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

Como se pode verificar pela observação do gráfico, os consumos de O₂, como seria de esperar diminuiram. As frações da CQO da parte dissolvida do presente cenário estão mais baixas relativamente ao cenário 1 (Quadro 3.8). Pela observação gráfica (Figura 4.7), podemos verificar que a biomassa heterotrófica tem uma descida abrupta na parte da manhã e já não cresce da mesma forma, como acontecia relativamente ao cenário 1 (Figura 3.19).

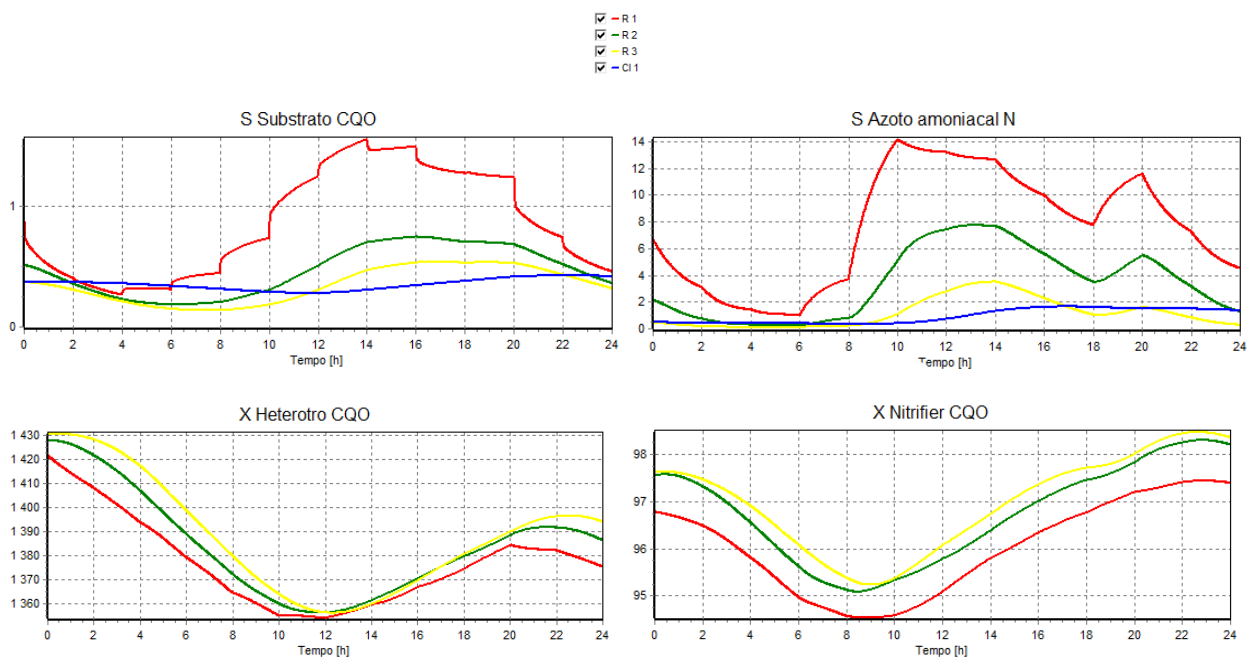


Figura 4.7 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 3 - Inverno)

A Figura 4.8, permite-nos verificar a variação do consumo de oxigénio ao longo dos três reatores com a diminuição preconizada da CQO neste cenário simulado. As necessidades de oxigénio mais uma vez atingem picos nos períodos diurnos diminuindo à noite, mas a gama de valores já não atinge valores tão altos como no cenário 1.

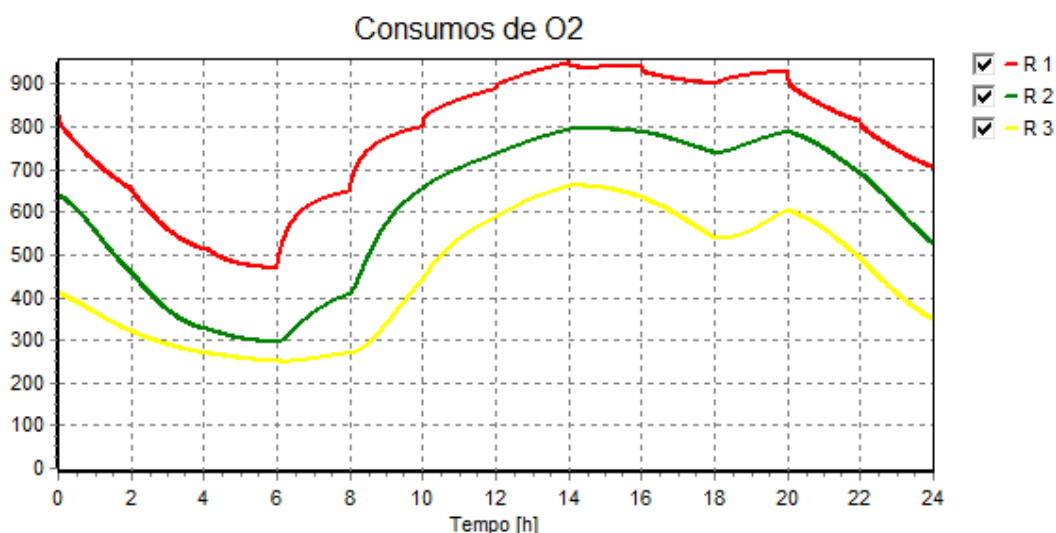


Figura 4.8 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 3 - Inverno)

4.1.2.2 Análise Cenário 3 – Verão

Relativamente ao período de Verão (Época alta) tendo em conta a influência da temperatura de operação no tratamento são esperados consumos de O₂ maiores do que na época baixa (Inverno). Atendendo à avaliação dos consumos de O₂ pela redução da matéria orgânica que aflui à ETAR é possível verificar a no Quadro 4.7:

Quadro 4.7 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 3 - Verão)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	11.392	12.902	14.295	15.751
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.309	0.217	0.178	0.297
N amónia	g/m ³	25.000	1.704	0.218	0.084	0.151
N azoto	g/m ³	0.000	2.246	2.685	3.088	3.040
N nitratos	g/m ³	0.000	23.411	25.364	25.895	26.297
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	2.626	2.340	2.266	2.258
Inert CQO	g/m ³	56.000	1781.269	1794.208	1805.061	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	29.393	24.325	20.016	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	878.599	885.670	888.373	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	8.121	7.371	6.608	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	63.427	63.536	63.217	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3080.455	3084.221	3081.460	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		857.063	419.667	328.745	

$$\begin{aligned}
 \text{Necessidades oxigénio} &= 857,063 + 419,667 + 328,745 = 1605,475 \\
 &< 2110,560 \text{ kg O}_2/d
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Como é possível verificar as necessidades diminuem quase 1/3 comparando com o cenário 1 – Verão.

Mais uma vez se verifica (Figura 4.9), que o crescimento da biomassa (Verão) tem uma variação diferente ao mesmo período homónimo no cenário 1, tendo uma descida abrupta até meio dia 1, visto que a matéria orgânica diminui.

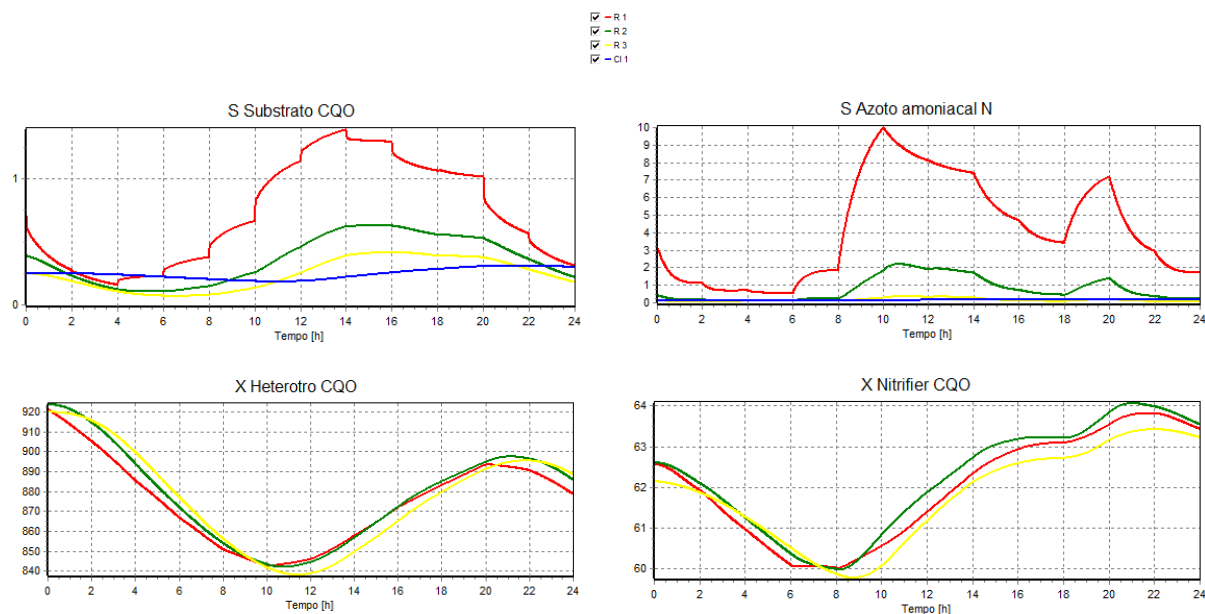


Figura 4.9 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 3 - Verão)

A curva de variação dos consumos de oxigénio ao longo dos três reatores mantém-se a mesma, mas com uma gama de valores menor, visto que o único valor de entrada que alterou foi a CQO. (Figura 4.10).

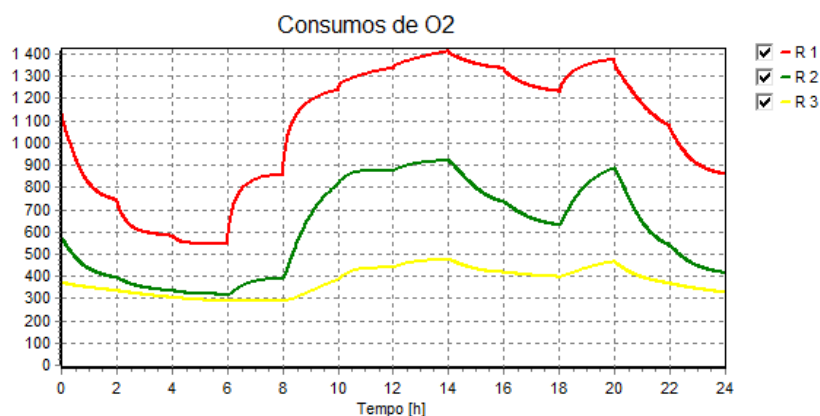


Figura 4.10 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR (Cenário 3 - Verão)

O Quadro 4.8 resume os consumos de O₂ em relação à diminuição da matéria orgânica da ETAR de estudo:

Quadro 4.8 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 3

	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /d)	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /sem)
Inverno	1579,398	284291,6
Verão	1605,475	288985,5
	Total (kg O ₂ /ano)	573277,1

4.1.3 Cenário 4

Neste cenário, as condições iniciais são as mesmas do cenário 1 ao longo de um dia (24 horas). A temperatura de operação varia consoante a época sazonal, como feito até aqui e fornecimento de uma concentração de oxigénio a 2mg/l constante em todos os reatores, mas é preconizado a diminuição do afluente que chega ao tratamento biológico (consultar no ANEXO I - Quadro 5.17, Quadro 5.18, Quadro 5.19, Quadro 5.20, Quadro 5.21). Uma redução de 40%, o que se prevê diminuir os consumos de oxigénio.

4.1.3.1 Análise Cenário 4 – Inverno

No Quadro 4.9 abaixo é possível verificar a afetação provocada pela diminuição da carga de afluente nos consumos de O_2 , possibilitando a avaliação de uma potencial otimização do sistema de arejamento.

Quadro 4.9 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 4 - Inverno)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O_2	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	17.535	19.130	20.398	18.331
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.407	0.314	0.267	0.341
N amónia	g/m ³	25.000	2.098	0.391	0.114	0.364
N azoto total	g/m ³	0.000	3.126	3.525	3.900	3.386
N nitratos	g/m ³	0.000	23.003	24.974	25.463	24.933
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	2.665	2.374	2.306	2.417
Inert CQO	g/m ³	56.000	1652.099	1666.987	1678.724	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	44.813	39.935	34.252	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1339.715	1353.245	1361.434	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	18.440	17.873	16.483	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	92.030	92.805	93.079	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3247.121	3264.841	3273.625	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		568.364	359.693	275.625	

$$\begin{aligned}
 \text{Necessidades oxigénio} &= 568,364 + 359,693 + 275,625 = 1203,682 \\
 &< 1897,806 \text{ kg } O_2/d
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

A redução do afluente revelou-se no menor consumo de oxigénio dos cenários até agora apresentados. Como referido no capítulo 2 do presente relatório, o afluente é um parâmetro que influencia a carência

de oxigénio no tratamento biológico. Neste cenário, as concentrações dos diversos parâmetros mantêm-se os mesmos, mas vêm num afluente menor o que torna possível a melhor segregação da matéria orgânica.

Esta conclusão pode ser verificada graficamente (Figura 4.11) abaixo, a CQO atinge valores menores que a CQO no cenário 1 (Figura 3.19), o mesmo acontece com o azoto amoniacal, apesar de curva variar de igual forma. A biomassa heterotrófica neste cenário apresenta essencialmente uma quebra, bem como os microrganismos nitrificantes ao longo do dia, porque a carga de afluente é menor não precisando de tantos microrganismos na degradação da matéria orgânica.

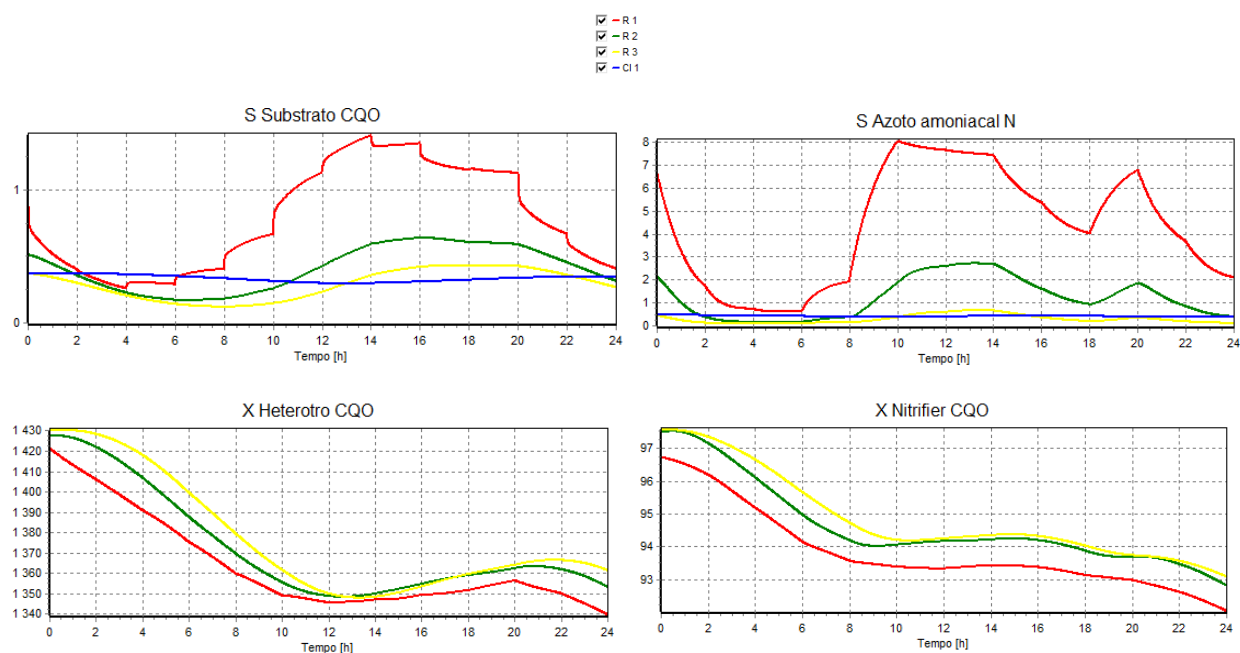


Figura 4.11 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 4 - Inverno)

A curva de variação dos consumos de oxigénio nos reatores para o presente cenário é apresentada na Figura 4.12, que mais uma vez mostra que os consumos de oxigénio vão diminuindo ao longo do tratamento, que diminui a matéria orgânica e consequentemente a necessidade de oxigénio.

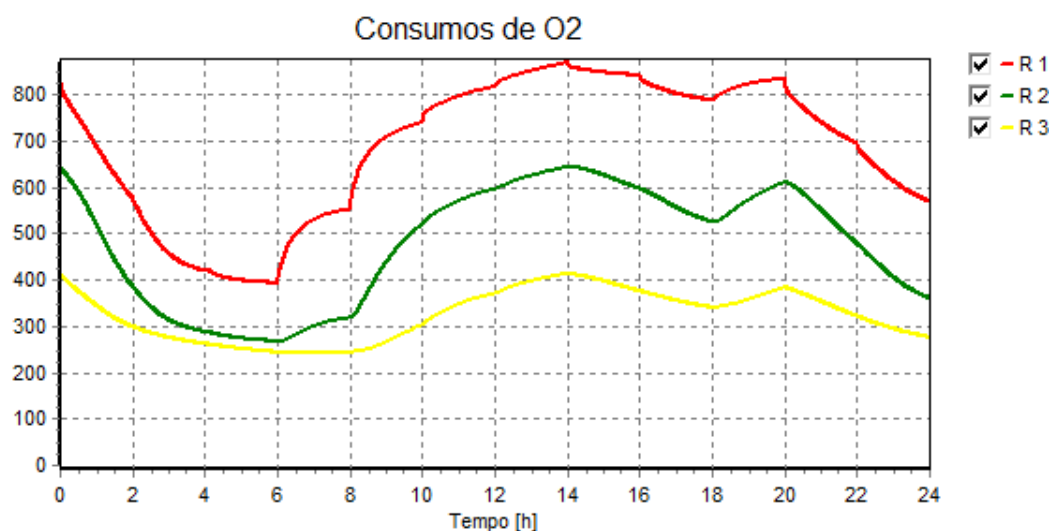


Figura 4.12 – Consumos de oxigênio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 4 - Inverno)

4.1.3.2 Análise Cenário 4 – Verão

Quadro 4.10 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigênio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 4 - Verão)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigênio O ₂	g/m ³	2.000	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	17.522	19.116	20.382	18.300
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.282	0.192	0.150	0.236
N amónia	g/m ³	25.000	0.948	0.146	0.086	0.095
N azoto total	g/m ³	0.000	3.514	3.962	4.375	3.823
N nitratos	g/m ³	0.000	25.156	26.368	26.826	26.492
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	2.428	2.255	2.204	2.284
Inert CQO	g/m ³	56.000	1759.756	1775.740	1788.496	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	25.809	20.698	16.184	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	843.805	852.423	854.782	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	7.117	6.417	5.394	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	57.442	57.658	57.564	
Massa total SST	g/m ³	210.000	2834.146	2847.564	2852.670	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		647.233	350.320	303.385	

Os consumos totais para um dia do presente cenário são:

$$\begin{aligned}
 \text{Necessidades oxigénio} &= 647,233 + 350,320 + 303,385 = 1300,938 \\
 &< 2110,560 \text{ kg } O_2/d
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

A redução de 40 % do afluente, traduziu-se na redução à volta de 40 % do consumo de oxigénio. Como já explicado na análise do “cenário 4 – Inverno”, a redução do afluente melhora a segregação da matéria orgânica presente no afluente. A variação das curvas da CQO, azoto amoniacal, crescimento da biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes é igual à do cenário 4 – Inverno, com a agravante de estar presente na época sazonal de Verão, que influencia as condições (Figura 4.13).

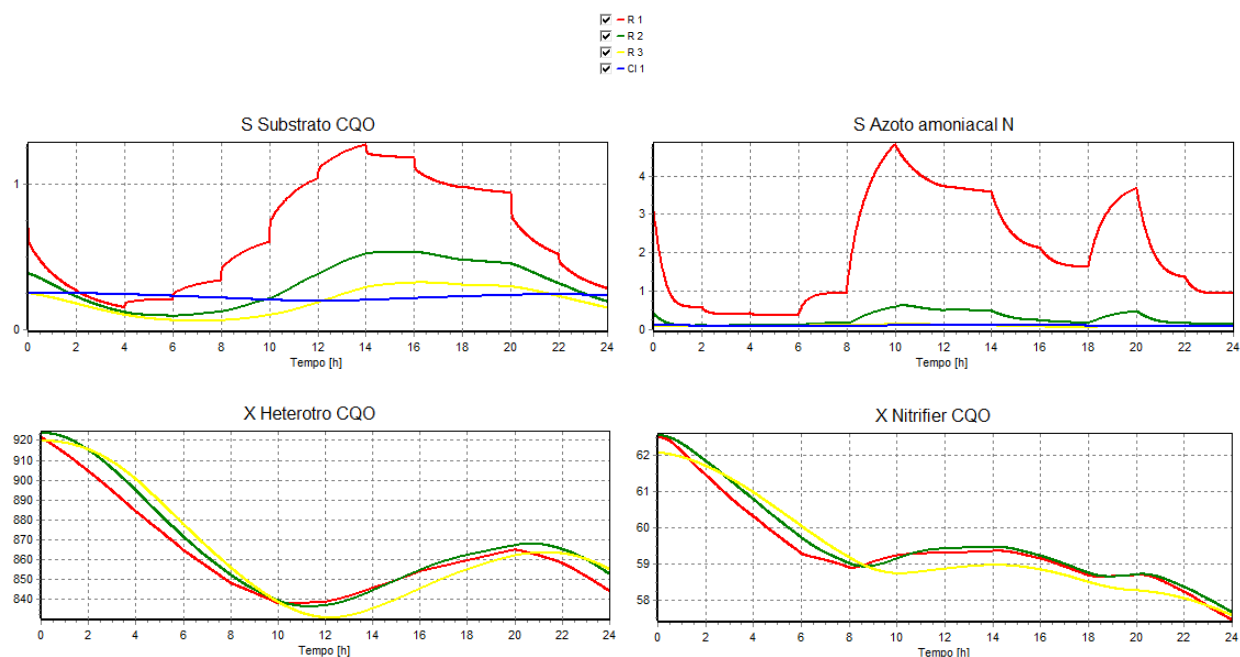


Figura 4.13 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 4 - Verão)

Na Figura 4.14, podemos verificar as taxas de consumo de oxigénio ao longo dos três reatores no período em estudo. No reator 3, os consumos são mais baixos devido ao trabalho de tratamento biológico feito à matéria orgânica nos 2 reatores a montante.

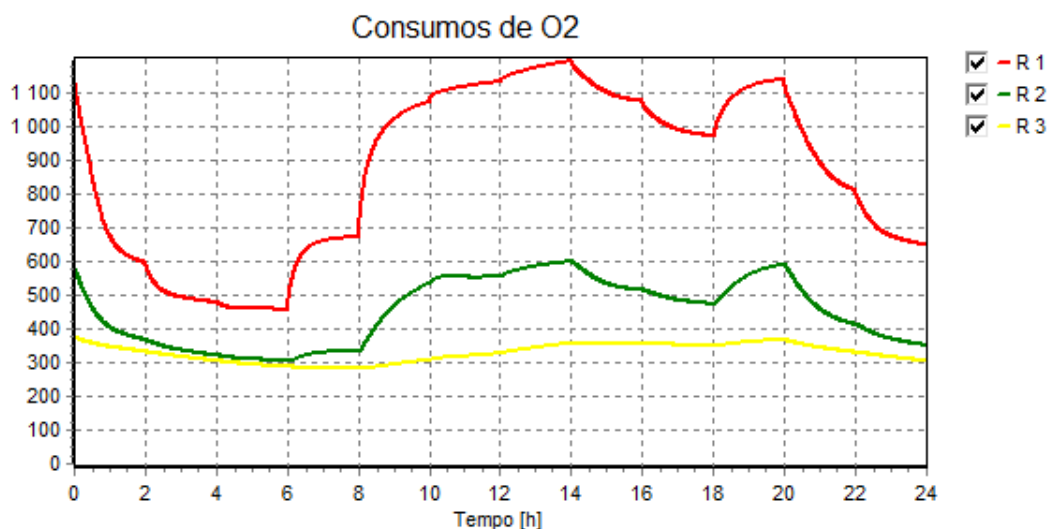


Figura 4.14 – Consumos de oxigênio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 4 - Verão)

No presente cenário foi preconizada a redução do afluente. Essa redução teve impacto nos consumos de O_2 como esperado. A redução da carga de afluente não se resume a essa carga, mas também à redução das cargas poluentes que necessitam de uma gama de OD para a sua eficaz remoção. Pode ser consultado no Quadro 4.11 o resumo de consumos O_2 para o presente cenário:

Quadro 4.11 – Resumo dos consumos de oxigênio para um ano no cenário 4

	Consumo de O_2 (kg O_2 /d)	Consumo de O_2 (kg O_2 /sem)
Inverno	1203,682	216662,8
Verão	1300,938	234168,8
	Total (kg O_2 /ano)	450831,6

4.1.4 Cenário 5

Neste cenário, a simulação considera o controlo de arejamento no tratamento biológico. Já foi referido no capítulo 2 do presente relatório, que a consideração de que a concentração de oxigênio é constante, por vezes, traduz-se em ineficiência e gastos energéticos desnecessários, porque essa concentração varia segundo vários fatores (temperatura, carga de poluentes, etc). A introdução de mecanismos de ajuste do arejamento às necessidades reais de O_2 permite reduzir esses gastos. Os controlos de mecanismos são introduzidos alterando os valores de K_{La} . Se consultarmos as Figura 3.20 e Figura 3.28, podemos verificar que as necessidades de oxigênio (Inverno e Verão respetivamente) são mais altas nos dois primeiros reatores, 1 e 2 e que o reator 3 é o que revela menos necessidades de oxigênio. Pode-se ainda verificar que as necessidades de O_2 apresentam altas oscilações em todos os reatores e entende-se, portanto, que

as necessidades não são constantes e por isso será benéfico que se faça variar a gama de valores de oxigénio a fornecer de forma a obter-se eficiências energéticas. Esta simulação contemplará a alteração dos parâmetros de transferência de oxigénio nos reatores 1, 2 e 3 (aeróbios).

As alterações a nível operacional introdução de mecanismos de controlo (leis de regulação da potência dos sobrepessores), variação de K_{La} , pode ser consultado no ANEXO I - Quadro 5.22, Quadro 5.23, Quadro 5.24, Quadro 5.25, Quadro 5.26 e Quadro 5.27. Este controlo de arejamento por leis de regulação da potência dos sobrepessores funciona pela análise de um valor de sinal definido, quando esse valor é atingido é alterado o arejamento segunda uma equação.

4.1.4.1 Análise Cenário 5 - Inverno

Com a observação do Quadro 4.12, é possível verificar as concentrações dos diversos parâmetros de avaliação após a simulação preconizada.

Quadro 4.12 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 5 - Inverno)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.246	2.375	2.492	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.120	18.245	20.172	20.309
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.619	0.487	0.430	0.548
N amónia	g/m ³	25.000	4.162	0.960	0.166	1.186
N azoto	g/m ³	0.000	2.347	2.804	3.198	2.749
N nitratos	g/m ³	0.000	19.544	22.886	23.787	24.319
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	3.076	2.568	2.421	2.472
Inert CQO	g/m ³	56.000	1765.493	1777.591	1786.897	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	76.125	69.228	61.675	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1489.257	1501.177	1508.428	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	33.437	32.705	30.831	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	97.542	98.338	98.437	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3518.773	3526.356	3526.795	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		781,616	568,268	385,294	2000.000

Neste cenário, em que se contempla a variação da temperatura do afluente, os consumos totais de oxigénio são:

$$\begin{aligned} \text{Necessidades oxigénio} &= 781,616 + 568,268 + 385,294 = 1735,178 \\ &< 1897,806 \text{ kg } O_2/d \end{aligned} \quad (4.7)$$

Como se pode verificar pela observação da Figura 4.15, a CQO é menor nos reatores 2 e 3. Nos reatores onde foram introduzidos os mecanismos de controlo de oxigénio, verificando os níveis destes. Devido à presença de oxigénio que é necessário à proliferação de microrganismos nitrificantes nos reatores aeróbios, pode-se verificar que existe uma maior presença de microrganismos (de notar que no período 8 – 12 h essa proliferação era quase inexistente no cenário 1 - Figura 3.19).

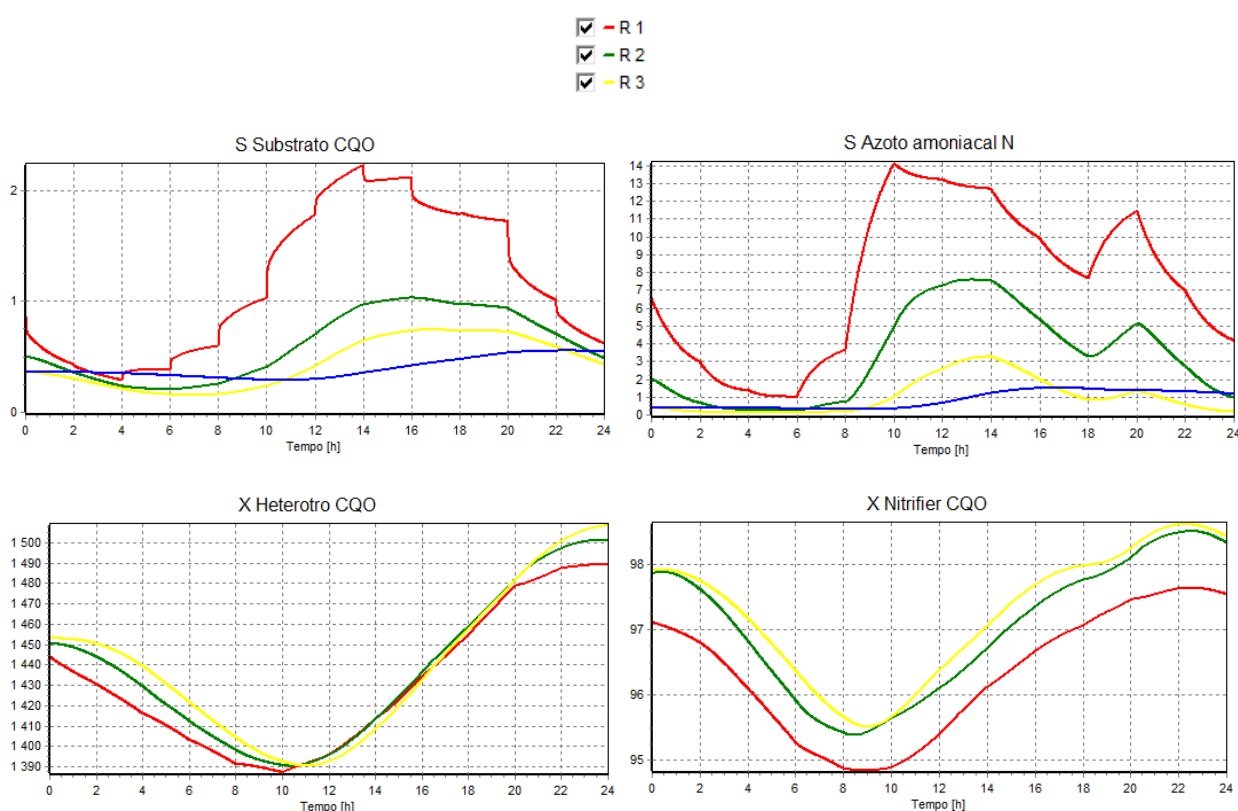


Figura 4.15 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 5 - Inverno)

A Figura 4.16 ilustra a transferência de oxigénio de acordo com a carência de oxigénio da simulação para o presente cenário. As curvas das transferências de oxigénio tendem assimilar-se às necessidades que os reatores apresentaram (Figura 3.20) no cenário 1 – Inverno.

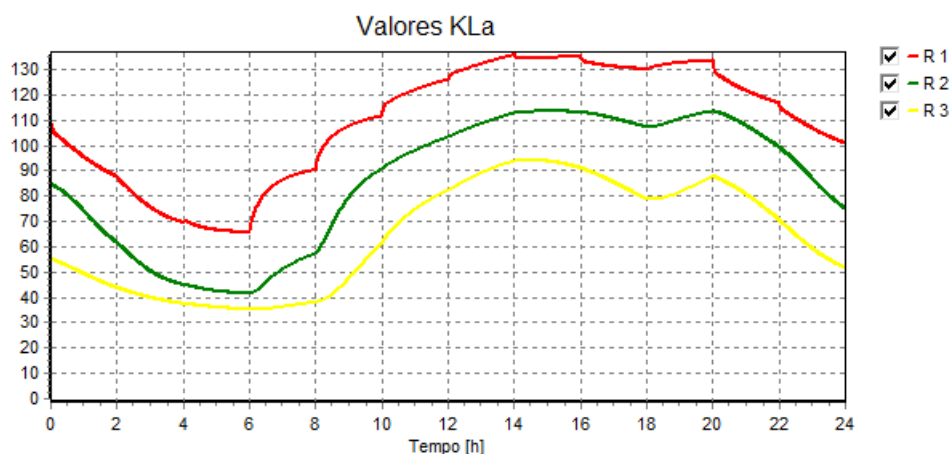


Figura 4.16 – Variação dos valores KLa ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 5 – Inverno)

4.1.4.2 Análise Cenário 5 – Verão

A análise é feita de mesma forma que foi feita na época de Inverno para o presente cenário e o quadro abaixo apresenta os consumos de oxigénio bem como as concentrações dos diversos parâmetros de avaliação.

Quadro 4.13 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio do cenário 6 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 5 – Verão)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	2.157	2.430	2.491	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.116	18.243	20.180	20.287
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.405	0.286	0.235	0.389
N amónia	g/m ³	25.000	1.643	0.195	0.074	0.129
N azoto	g/m ³	0.000	2.732	3.248	3.691	3.261
N nitratos	g/m ³	0.000	22.552	24.285	24.688	25.804
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	2.682	2.414	2.351	2.290
Inert CQO	g/m ³	56.000	1833.770	1846.459	1856.349	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	43.356	36.137	29.865	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	982.068	989.949	991.570	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	12.390	11.301	10.277	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	63.137	63.229	62.903	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3060.004	3063.432	3060.404	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		930,843	480,974	387,468	

Os consumos de O_2 e portanto as necessidades para o presente cenário são:

$$\begin{aligned} \text{Necessidades oxigénio} &= 930,843 + 480,974 + 387,468 = 1799,285 \\ &< 2110,560 \text{ kg } O_2/d \end{aligned} \quad (4.8)$$

A introdução destes mecanismos de controlo também se traduz na mesma redução de consumos de oxigénio na época de verão. As mesmas variações de curva dos diversos parâmetros de avaliação ocorrem na época de verão, mas com gamas de valores diferentes afetos a essa alteração de temperatura de operação (Figura 4.17).

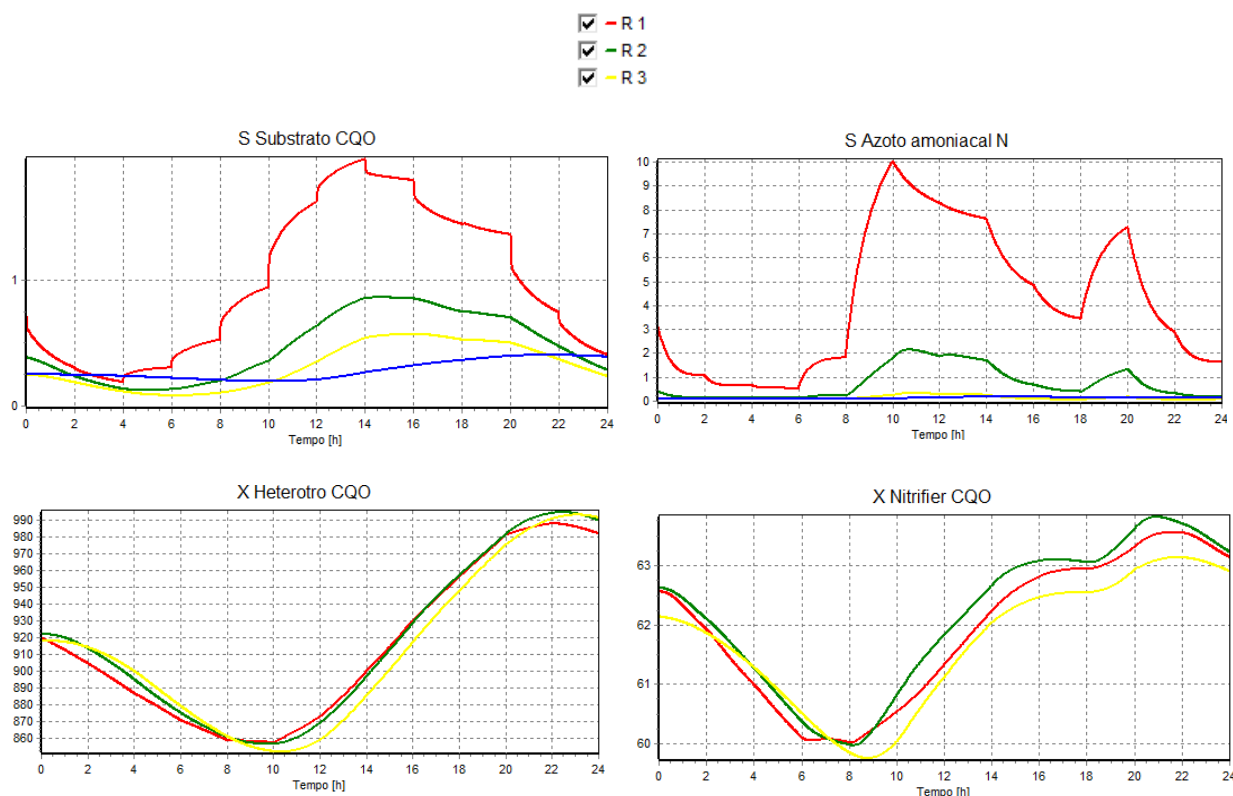


Figura 4.17 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 5 - Verão)

Os valores de transferência de oxigénio, afetos à introdução dos mecanismos de controlo tendem a assumir a curva de variação dos consumos de oxigénio do cenário 1 (Figura 3.28) para o mesmo período homólogo (Verão).

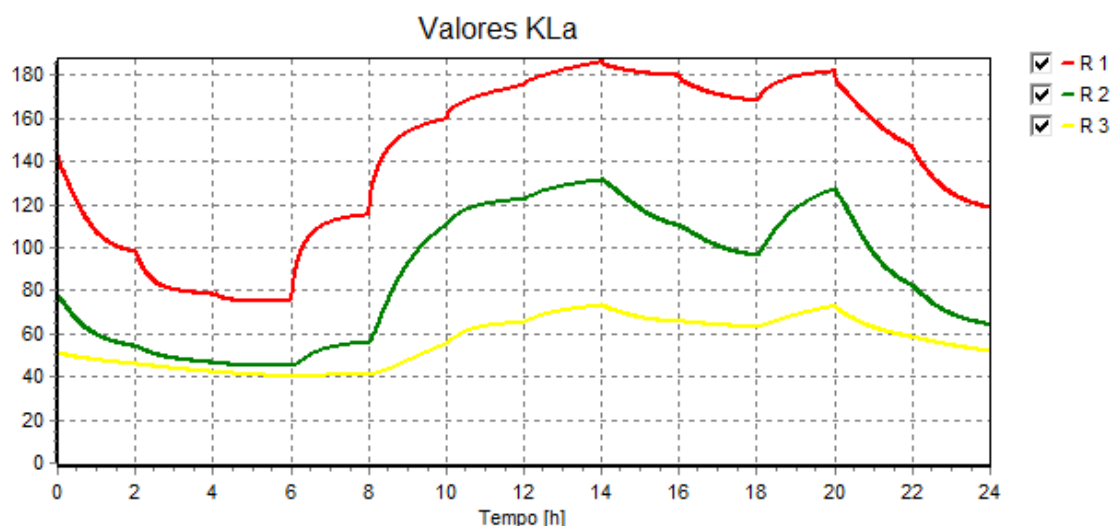


Figura 4.18 – Variação dos valores KLa ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 5 – Verão)

A introdução de mecanismos de controlo por leis de regulação permitiu o ajuste das necessidades de O_2 às reais.

Pode ser consultado no Quadro 4.14 os consumos de O_2 para as diferentes épocas sazonais (por dia ou semestre) em relação à introdução desses mecanismos.

Quadro 4.14 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 6

	Consumo de O_2 (kg O_2 /d)	Consumo de O_2 (kg O_2 /sem)
Inverno	1735,178	312332,0
Verão	1799,285	323871,3
	Total (kg O_2 /ano)	636203,3

4.1.5 Cenário 6

O presente cenário contempla também o controlo de oxigénio com o mesmo intuito do cenário 6, mas em vez de ser por leis de regulação, este controlo é On/Off, em que o arejamento é constantemente ligado ou desligado de forma a manter apenas o oxigénio necessário correspondente às necessidades reais no tanque. Os controlos de mecanismos são introduzidos alterando os valores de KLa (Consultar ANEXO I - Quadro 5.28 e Quadro 5.31). No presente estudo foi definido um valor mínimo a fornecer para que o sistema não fosse completamente desligado, o que poderá provocar problemas de desgaste nos equipamentos na prática.

4.1.5.1 Análise Cenário 6 - Inverno

Consultando o Quadro 4.15, é possível verificar as concentrações dos diversos parâmetros de avaliação após a simulação preconizada.

Quadro 4.15 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio 6 em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 6 – Inverno)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	1.837	1.760	1.583	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.111	18.234	20.157	20.300
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.623	0.492	0.436	0.553
N amónia	g/m ³	25.000	4.366	1.111	0.206	1.351
N azoto	g/m ³	0.000	2.795	3.333	3.858	3.355
N nitratos	g/m ³	0.000	18.901	22.217	23.090	23.539
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	3.136	2.626	2.474	2.540
Inert CQO	g/m ³	56.000	1760.687	1772.753	1781.999	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	76.132	69.237	61.675	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1494.160	1506.107	1513.475	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	33.629	32.914	30.969	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	97.904	98.717	98.850	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3520.936	3528.561	3529.050	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		768,111	568,724	381,384	

Os consumos totais da simulação do presente cenário são:

$$\begin{aligned}
 \text{Necessidades oxigénio} &= 768,111 + 568,724 + 381,384 \\
 &= 1718,219 < 1897,806 \text{ kg } O_2/d
 \end{aligned}
 \tag{4.9}$$

A redução ronda os 10 % e o ganho energético correspondente a esta redução será estudado num ponto a seguir neste projeto. Tal como no cenário anterior, este controlo de arejamento permite a diminuição da CQO nos reatores aeróbios presentes na ETAR. Essa diminuição permite o crescimento dos microrganismos nitrificantes e biomassa heterotrófica que degrada a matéria orgânica (Figura 4.19).

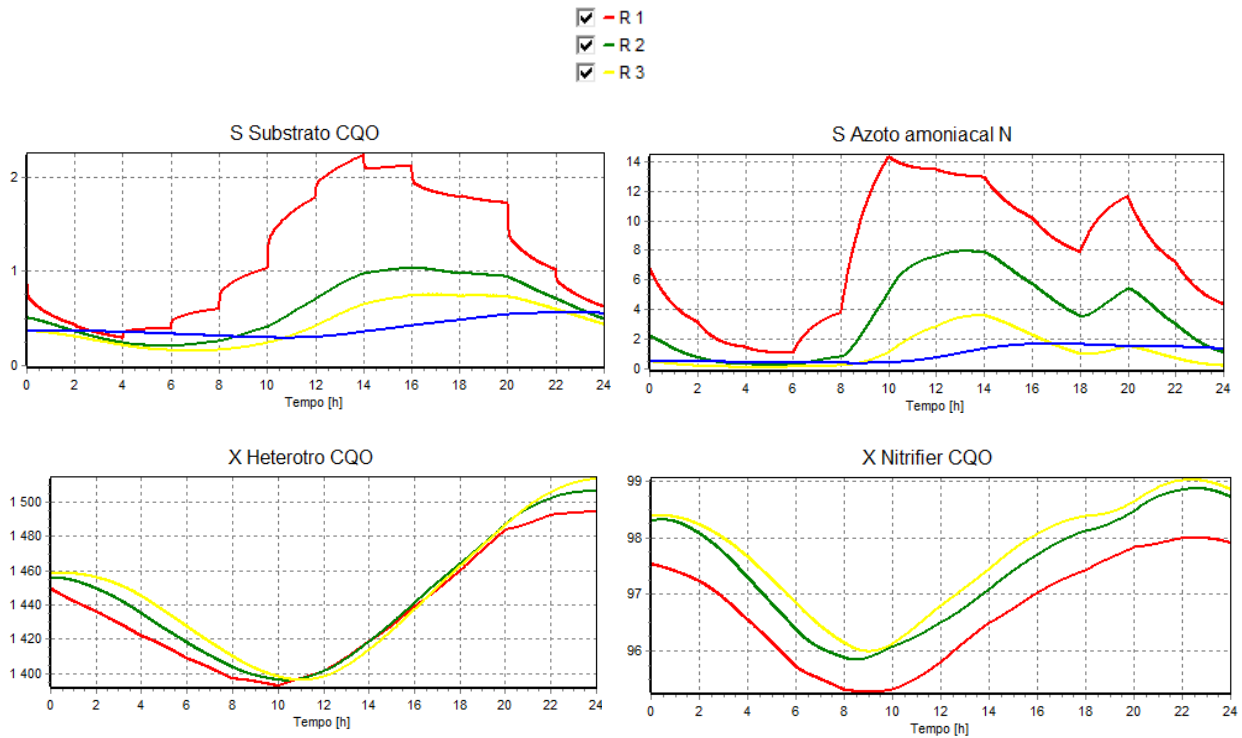


Figura 4.19 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 6 - Inverno)

A curva de variação da transferência de oxigénio é quase impercetível nos reatores aeróbios, de onde se pode concluir que este controlo está sempre a “desligar” e “ligar” o sistema de forma a manter o oxigénio necessário ao tratamento biológico (Figura 4.20).

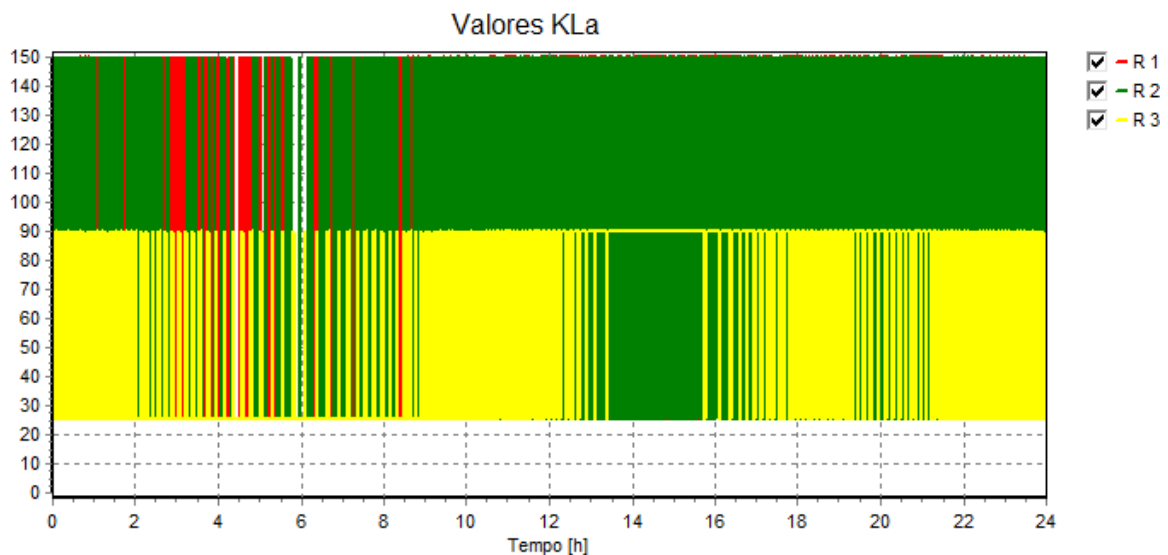


Figura 4.20 – Variação dos valores KLa ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 6 - Inverno)

4.1.5.2 Análise Cenário 6 – Verão

Esta análise segue o mesmo módulo da análise anterior para o presente cenário. Os consumos de oxigénio e concentrações dos diversos parâmetros devem ser consultados no Quadro 4.16 abaixo:

Quadro 4.16 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo (Cenário 6 – Verão)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	1.938	1.773	1.508	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.133	18.264	20.201	20.281
Substrate CQO	g/m ³	28.000	0.399	0.283	0.234	0.383
N amónia	g/m ³	25.000	2.032	0.275	0.095	0.235
N azoto	g/m ³	0.000	3.480	4.168	4.822	4.187
N nitratos	g/m ³	0.000	21.504	23.380	23.630	24.875
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	2.785	2.484	2.428	2.365
Inert CQO	g/m ³	56.000	1788.075	1800.393	1809.891	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	43.340	36.124	29.844	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1003.815	1011.912	1013.842	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	12.257	11.135	9.986	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	57.538	57.658	57.306	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3033.636	3036.946	3033.744	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		922,78	495,162	379,111	

Os consumos totais de oxigénio são:

$$\begin{aligned}
 \text{Necessidades oxigénio} &= 922,78 + 495,162 + 379,11 = 1797,053 \\
 &< 2110,560 \text{ kg } O_2/d
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

A redução neste cenário para a presente época sazonal em estudo também ronda os 15%, o que se traduz num ganho benéfico. A observação gráfica das Figura 4.21 e Figura 4.22 permite verificar que a simulação mantém a mesma variação de curvas presente no anterior estudo para o mesmo cenário, afeto apenas da alteração da temperatura de operação.

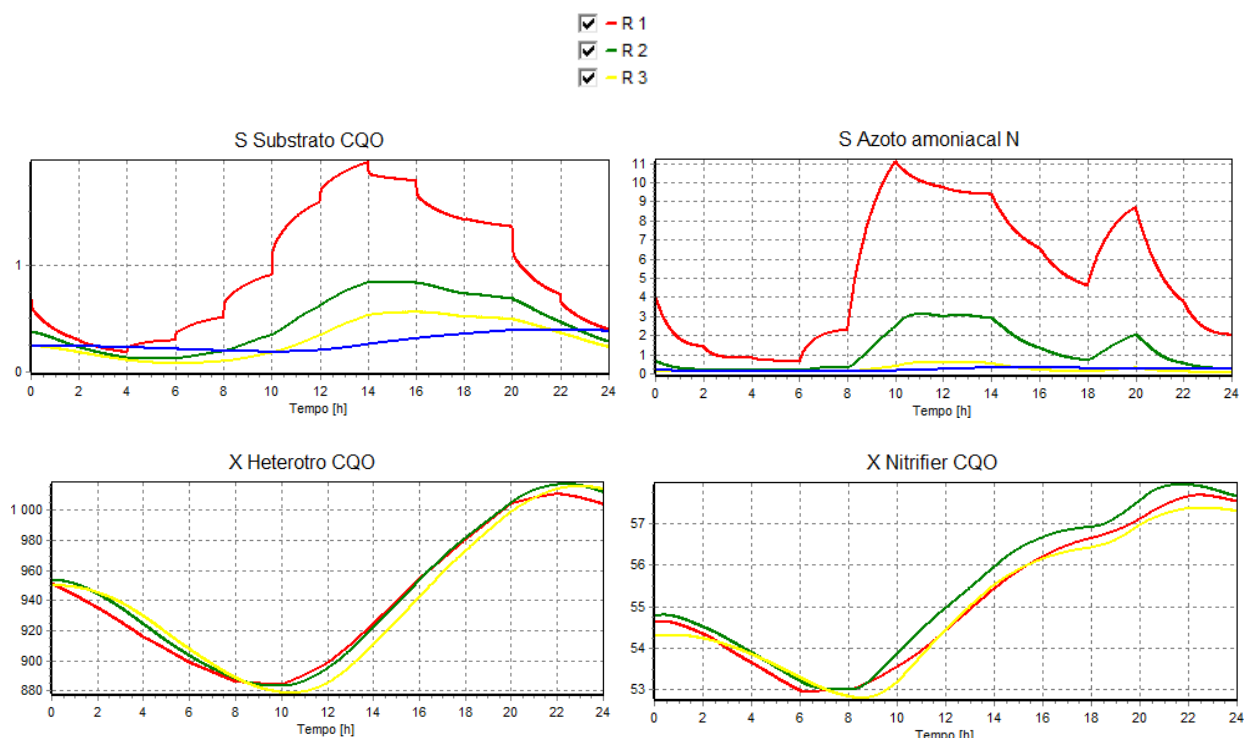


Figura 4.21 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 6 - Verão)

Os valores de transferência de oxigénio K_La , devido aos mecanismos de controlo *On/Off* (para qua não seja desligado totalmente o sistema foram definidos o valor mínimo de 25,0 mg/l) oscilaram abruptamente, o que se verifica na Figura 4.22, em todos os reatores sendo quase impercetível a sua variação.

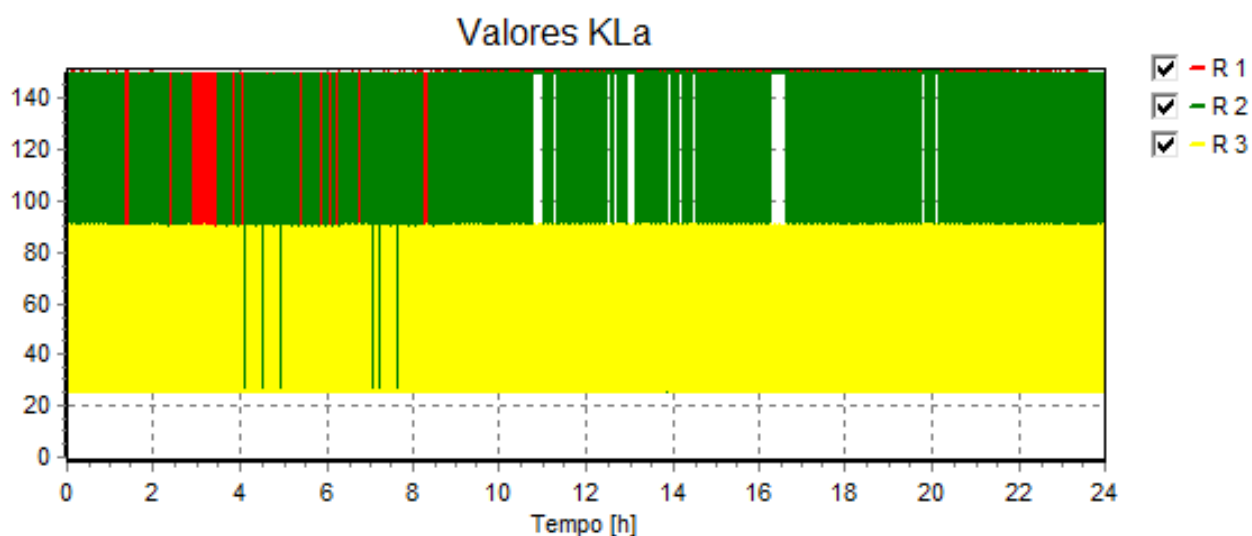


Figura 4.22 – Variação dos valores K_La ao longo dos reatores biológicos presentes na ETAR em estudo (Cenário 6 – Verão)

Os consumos de oxigénio deste cenário, permitem verificar que ao compararmos os dois mecanismos de controlo, este traduz num maior decréscimo de consumo (Quadro 4.17). Este mecanismo pela verificação constante com o fecho automático do arejamento poderá trazer vantagens, mas é possível ter em atenção as desvantagens referidas no capítulo 2 do presente relatório.

Quadro 4.17 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 6

	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /d)	Consumo de O ₂ (kg O ₂ /sem)
Inverno	1718,219	309279,4
Verão	1797,053	323469,5
	Total (kg O ₂ /ano)	6327,489

4.1.6 Cenário 7

Este cenário contempla a introdução da desnitrificação neste tratamento biológico. Este tratamento como referido na parte teórica do presente relatório permite o melhoramento da qualidade final do efluente, pela redução dos nitratos no afluente que prejudica o meio ambiente, e pela recuperação de oxigénio. Esta contemplação introduz alterações a nível geométrico e operacional.

Na Figura 4.23 abaixo é representado o esquema da planta no tratamento secundário para o cenário em que se contemplam a adição de 2 reatores biológicos. Os primeiros dois reatores são anóxicos (sem arejamento) e, portanto, mais pequenos. O aumento da idade de lamas permite a retenção mais demorada das lamas ativadas nos reatores e como os primeiros dois reatores são mais pequenos o oxigénio é mais rapidamente consumido, permitindo a desnitrificação (com a ajuda das lamas recicladas que contém nitratos).

Flowscheme of the plant

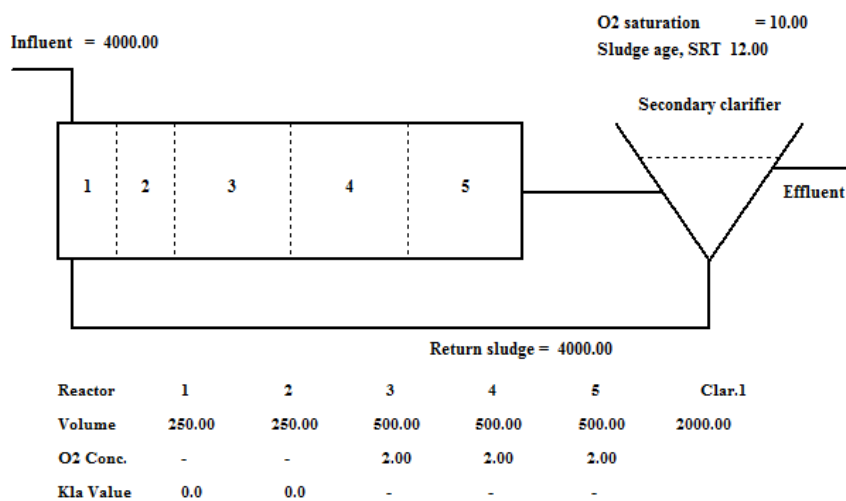


Figura 4.23 – Planta de ETAR em estudo com desnitrificação (tratamento secundário)

Para este cenário é também definido que a concentração de oxigénio deve ser mantida a 2 mg/l em todos os reatores e que a capacidade de arejamento (k_{La}) é constante (Quadro 4.18).

Quadro 4.18 – Definição dos volumes de reatores e arejamento

	Volume (m ³)	Nível de oxigénio (mg/l)	Valor k_{La}
Reator 1	250	0	0
Reator 2	250	0	0
Reator 3	500	2,00	0
Reator 4	500	2,00	0
Reator 5	500	2,00	0
Decantador secundário	2000		

Estas condições são comuns a ambas as épocas sazonais do cenário em estudo, as restantes condições que variam devido à temperatura podem ser consultadas no ANEXO I - Quadro 5.36 e Quadro 5.38.

4.1.6.1 Análise Cenário 7 - Inverno

O Quadro 4.19 abaixo permite a verificação das concentrações de cada parâmetro em avaliação no fim de cada reator biológico bem como decantador secundário. É possível verificar que devido à desnitrificação acontecer nesta simulação os nitratos são quase nulos no final do reator 2, onde esta ocorre.

Quadro 4.19 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo
(Cenário 7 - Inverno)

	Unidade	Afluente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Reator 4	Reator 5	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	250.000	250.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	0.016	1.11E-4	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800
Substrate CQO	g/m ³	28.000	3.252	3.454	0.544	0.349	0.254	0.254
N amónia	g/m ³	25.000	13.243	13.549	6.880	2.153	0.461	0.461
N azoto total	g/m ³	0.000	10.988	13.283	13.706	14.065	14.374	14.375
N nitratos	g/m ³	0.000	2.696	0.401	6.635	11.076	12.715	12.715
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	4.967	5.153	4.232	3.577	3.339	3.339
Inert CQO	g/m ³	56.000	1703.198	1703.469	1705.796	1708.136	1710.479	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	90.719	77.035	56.605	41.466	30.305	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	1256.075	1257.367	1264.991	1268.388	1268.122	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	26.392	31.787	26.242	19.665	14.516	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	93.329	93.284	94.512	95.291	95.384	
Massa total SST	g/m ³	210.000	3287.186	3281.486	3272.547	3262.759	3252.903	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		63.497	0.499	750.772	581.096	356.148	

Neste cenário, em que contempla a desnitrificação os consumos totais de oxigénio são:

$$Necessidades\ oxigénio = 63,497 + 0,499 + 750,772 + 581,096 + 356,148 = 1752,012 < 1897,806\ kg\ O_2/d \quad (4.11)$$

A desnitrificação reduz à volta de 10 % os consumos de oxigénio permitindo ainda a melhoria da qualidade final do efluente.

A CQO nos reatores 1 e 2 atingem níveis muito altos devido à privação de oxigénio que existe nestes reatores. Com a privação do oxigénio, a concentração de oxigénio amoniacal aumenta nestes reatores e o crescimento da biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes são menores nos reatores 1 e 2 do que nos reatores seguinte (Figura 4.24). Com a simulação do processo de desnitrificação é possível observar também a remoção do azoto amoniacal no afluente (reator 4 e 5 com valores praticamente nulos).

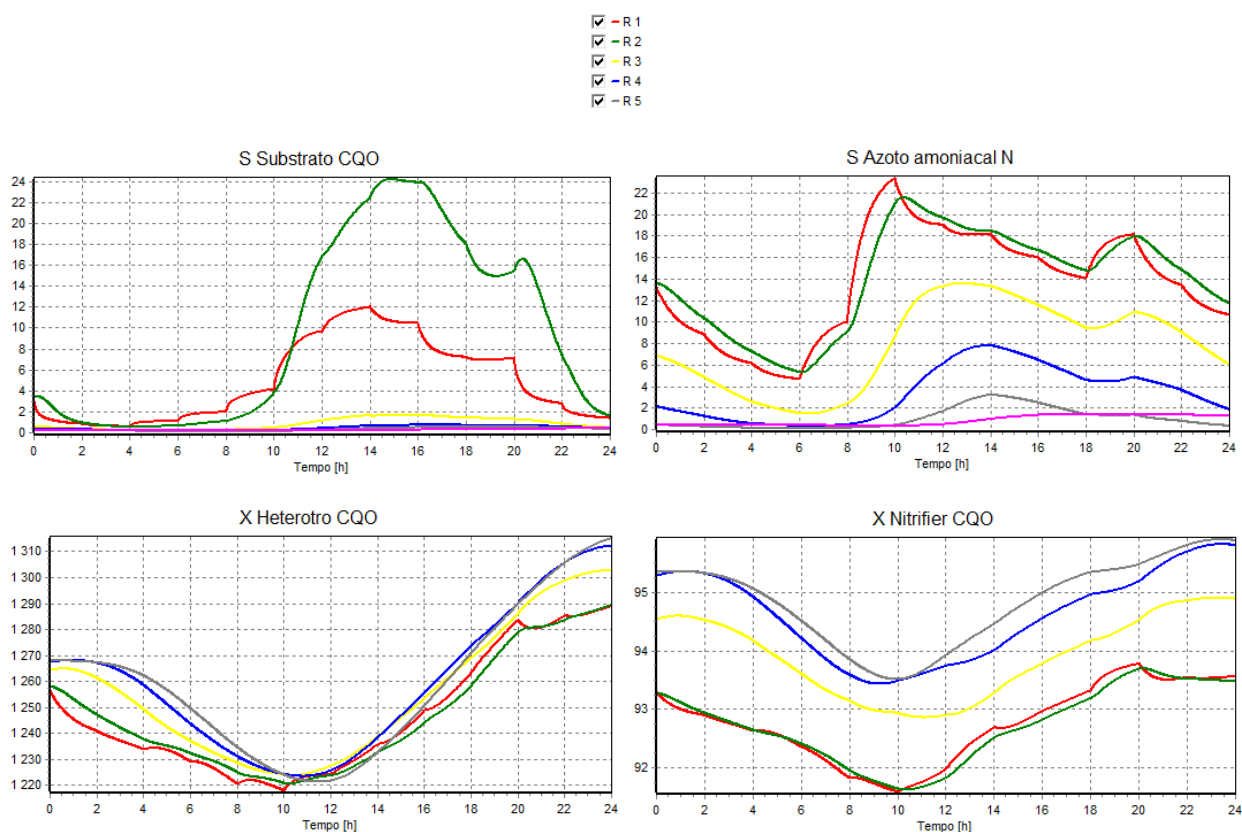


Figura 4.24 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotróficas e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 7 - Inverno)

Como se pode verificar, na Figura 4.25, a gama de valores da curva de variação da respiração endógena dos microrganismos nos reatores anóxicos (1 e 2) é alta e inversa à curva de variação CQO dos mesmos reatores na presente avaliação, enquanto que nos reatores 3, 4 e 5, aeróbios, acontece o contrário devido ao fornecimento de OD.

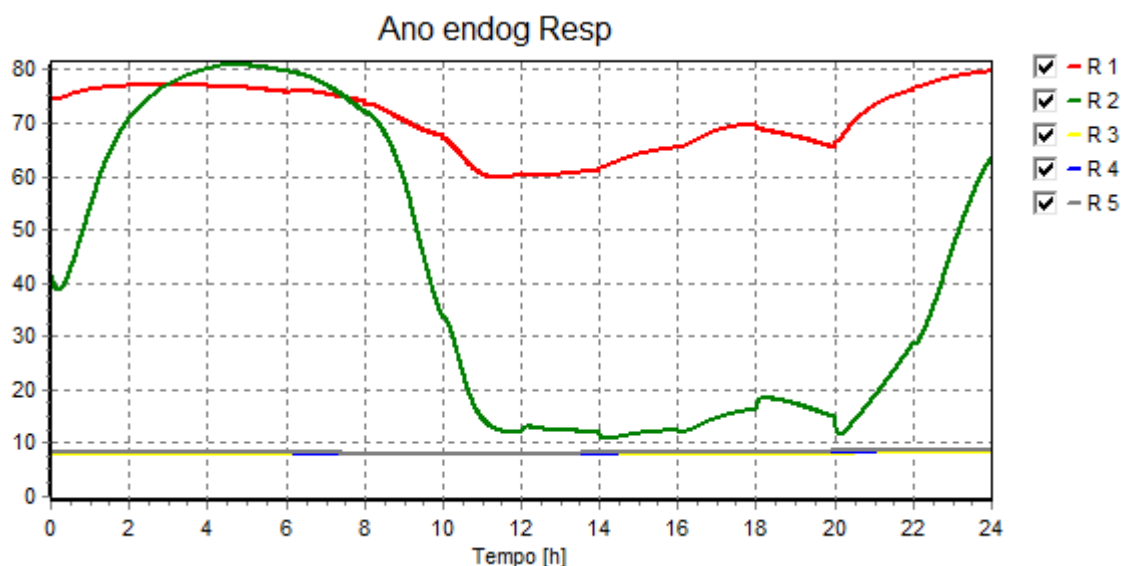


Figura 4.25 - Respiração endógena ao longo dos reatores (Cenário 7 – Inverno)

É possível observar na Figura 4.26 que os consumos de oxigénio no reator 1 são baixas e no reator 2 são praticamente nulas, isto deve-se à privação de oxigénio nestes reatores (anóxicos), tendo que os microrganismos alimentarem-se de si próprios bem como das lamas recicladas.

As curvas dos consumos de O_2 ao longo dos reatores aeróbios, 3 4 e 5, comportam-se de forma semelhante às dos cenários anteriores.

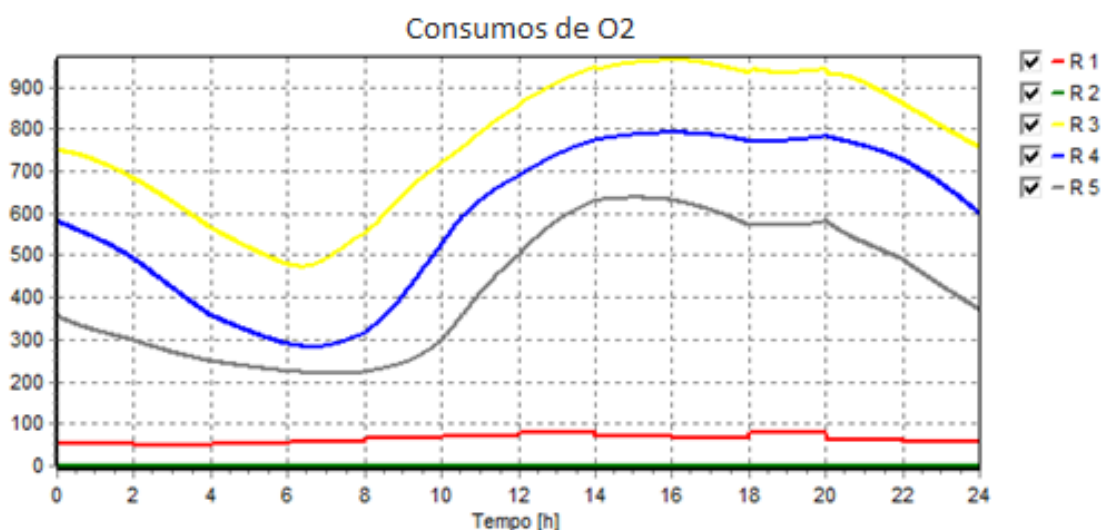


Figura 4.26 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 7 - Inverno)

4.1.6.2 Análise Cenário 7 - Verão

No Quadro 4.20 abaixo estão apresentados os consumos de oxigénio do cenário 5 na época de verão bem como as concentrações dos diversos parâmetros, contemplando a desnitrificação.

Quadro 4.20 – Concentrações dos diversos parâmetros de avaliação e consumos de oxigénio em cada reator e decantador secundário da ETAR em estudo
(Cenário 7 - Verão)

	Unidade	Afluyente	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Reator 4	Reator 5	Decantador secundário
Taxa de fluxo/Volumes	m ³ /d	4000.000	250.000	250.000	500.000	500.000	500.000	2000.000
Oxigénio O ₂	g/m ³	2.000	0.011	4.76E-5	2.000	2.000	2.000	
Inert CQO	g/m ³	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800
Substrate CQO	g/m ³	28.000	2.965	5.600	0.459	0.240	0.155	0.155
N amónia	g/m ³	25.000	13.077	13.375	3.300	0.415	0.100	0.100
N azoto total	g/m ³	0.000	12.441	14.402	14.925	15.318	15.638	15.638
N nitratos	g/m ³	0.000	2.112	0.152	9.672	12.510	13.119	13.119
Alcalinidade Mol	mol/m ³	6.000	4.997	5.158	3.759	3.350	3.284	3.284
Inert CQO	g/m ³	56.000	1798.667	1798.851	1801.890	1804.929	1807.945	
Substrate CQO	g/m ³	154.000	73.513	58.237	37.878	24.500	15.789	
Heterotro CQO	g/m ³	25.200	804.786	805.869	813.776	812.829	806.550	
Storage p CQO	g/m ³	0.000	17.908	23.713	15.384	8.891	5.514	
Nitrifier CQO	g/m ³	0.000	58.134	58.092	59.833	59.937	59.493	
Massa total SST	g/m ³	210.000	2901.548	2894.649	2885.345	2872.935	2860.587	
Consumo de oxigénio	(kg/d)		63.646	0.353	1048.937	504.631	307.381	

Os consumos totais de oxigénio para esta variação do cenário 7 são:

$$Necessidades\ oxigénio = 63,646 + 0,353 + 1048,937 + 504,631 + 307,381 = 1924,948 < 2110,560\ kg\ O_2/d \quad (4.12)$$

Como se pode verificar os consumos de O₂ são menores devido à introdução de mecanismos de controlo, podendo contribuir para otimização do sistema.

Acerca da variação de nitratos referida acima, é possível verificar (Figura 4.27) que nos dois primeiros reatores em que a operação é feita em modo anóxico (privado de oxigênio) os nitratos vão diminuindo tornando-se quase nulos no reator 2. Em comparação com a Figura 3.22, é possível verificar a redução da gama de nitratos para quase metade dos valores presentes no cenário de referência. Isto é possível pela introdução do processo de remoção de azoto – desnitrificação.

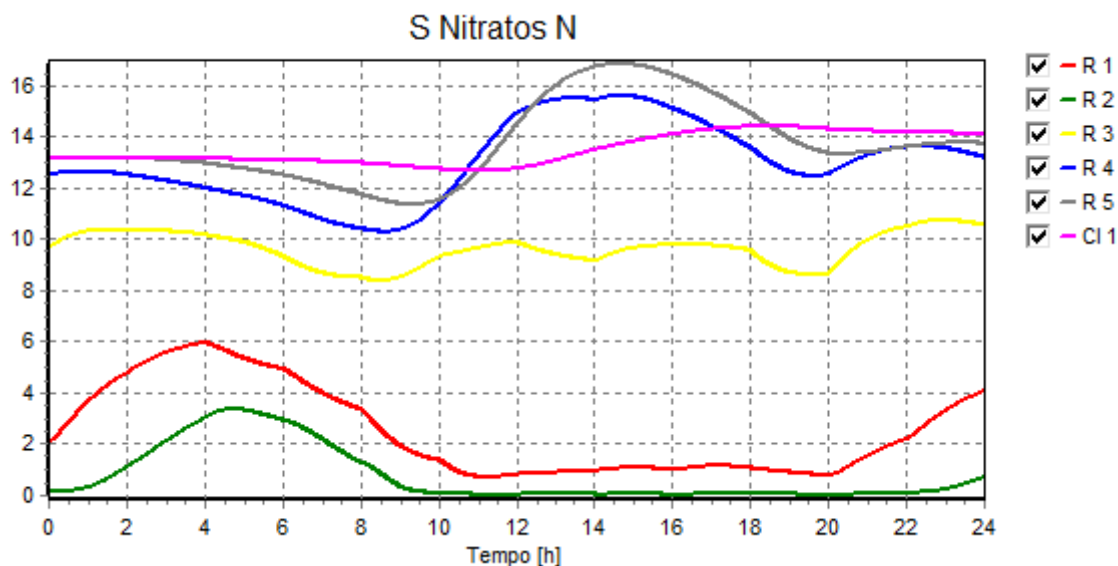


Figura 4.27 – Variação dos nitratos nos reatores e no decantador secundário presente na ETAR ao longo de um dia (Cenário 7 - Verão)

A análise do cenário 7, em que se contempla a desnitrificação, mas para época de Verão segue o mesmo estudo em que é introduzido a agravante do aumento de temperatura (20°C). Essa agravante faz com a gama de valores da curva de variação dos parâmetros (Figura 4.28) abaixo apresentados graficamente seja maior do que no cenário 7 – Inverno (Figura 4.24) e por consequente no cenário 1, de referência. O azoto amoniacal atinge valores quase nulos (reator 4 e 5) no presente cenário graças ao processo de desnitrificação, algo que não acontecia no cenário de referência (Figura 3.21).

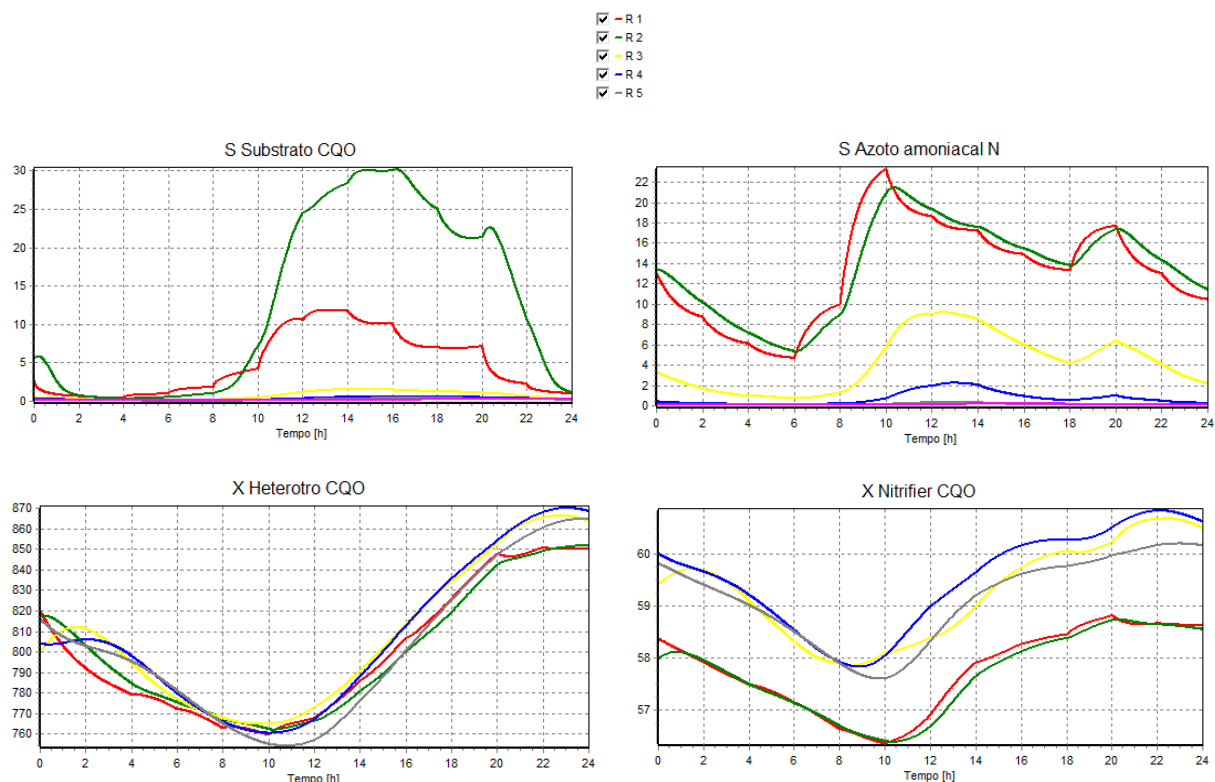


Figura 4.28 – Valores de concentração de CQO facilmente biodegradável e azoto amoniacal (cima) e concentrações de biomassa heterotrófica e microrganismos nitrificantes (baixo) ao longo dos reatores na ETAR em estudo durante um dia (Cenário 7 - Verão)

A curva de variação da respiração endógena no presente cenário (Figura 4.29) também apresenta gamas valores nos reatores anóxicos (1 e 2), onde os microrganismos alimentam-se de si próprios devido à privação de oxigénio, e é praticamente nula nos reatores 3, 4 e 5 (aeróbios). Com agravante da temperatura de operação 20°C revela-se maior em comparação com apresentada na Figura 4.25 e por consequente também maior do que no cenário 1, o de referência.

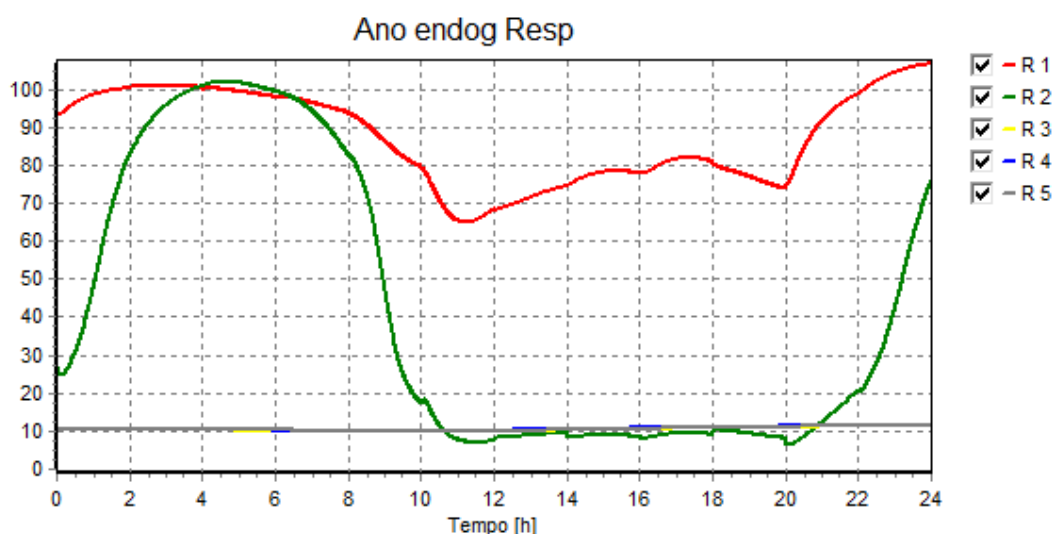


Figura 4.29 – Respiração endógena ao longo dos reatores (Cenário 7 – Verão)

Os consumos de oxigénio neste cenário 7 – Verão seguem as seguintes curvas apresentadas graficamente na Figura 4.30, são praticamente nulas nos reatores anóxicos, onde há privação de oxigénio em presença dos nitratos (processo biológico de remoção de azoto – desnitrificação). Os consumos de O_2 são maiores no reator aeróbio logo a seguir (3) e vai diminuindo ao longo da passagem pelos 3 reatores aeróbios (3,4 e 5) à medida que se vai removendo a matéria orgânica.

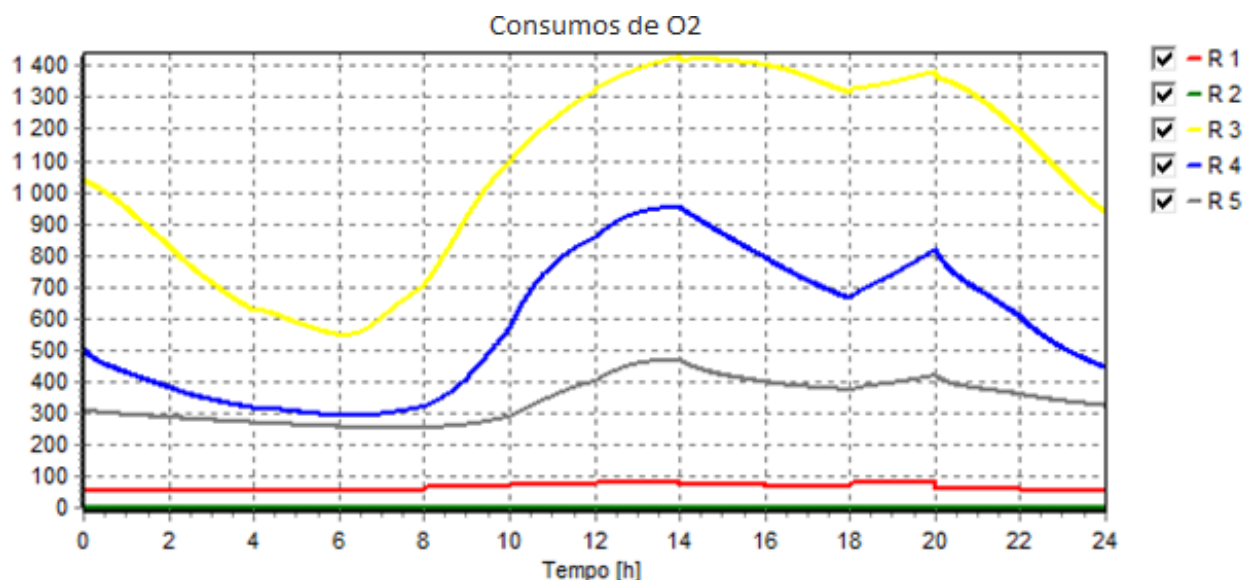


Figura 4.30 – Consumos de oxigénio ao longo dos reatores na ETAR em estudo (Cenário 7 - Verão)

A presente simulação contemplando a desnitrificação permitiu verificar a melhoria do afluente (redução de azoto amoniacal) e a redução do consumo de oxigénio pelo aumento da idade de lamas. Essa redução é possível verificar no Quadro 4.21:

Quadro 4.21 – Resumo dos consumos de oxigénio para um ano no cenário 7

	Consumo de O_2 (kg O_2 /d)	Consumo de O_2 (kg O_2 /sem)
Inverno	1752,012	315362,2
Verão	1924,948	346490,6
	Total (kg O_2 /ano)	661852,8

4.2 QUANTIFICAÇÃO DO FLUXO DE AR A FORNECER AO SISTEMA (AREJAMENTO)

Através das fórmulas consultadas no Metcalf & Eddy (2003), já apresentadas num ponto anterior do presente relatório, e as necessidades de O_2 quantificadas pelo software ASIM foi possível chegar aos seguintes valores de fluxo de ar requerido para os cenários simulados a partir das condições impostas:

Quadro 4.22 – Valores de taxa de fluxo de ar requerido para cada cenário simulado da ETAR de estudo

	Cenário	Taxa de fluxo de ar (m ³ /min)	
		Inverno	Verão
Projeto	Cenário 1	35,74	42,44
Mudança de temperatura	Cenário 2	26,10	37,39
Redução CQO	Cenário 3	24,28	32,29
Redução afluenta	Cenário 4	18,51	26,16
Controlo Equação	Cenário 5	26,68	36,18
Controlo <i>On/Off</i>	Cenário 6	26,42	36,14
Desnitrificação	Cenário 7	26,94	38,71

4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA - SOBREPRESSORES

Nos dois quadros seguintes são apresentadas a potências elétrica e a energia gasta afeta a cada cenário. No Quadro 4.23 são apresentadas as novas potências dos sobrepessores por hora devido à redução de consumos determinada para cada cenário e por época sazonal e no Quadro 4.24 os consumos de energia dos sobrepessores por ano em cada cenário.

O presente Quadro 4.23 mostra que as potências necessárias dos sobrepessores dos cenários 2 a 7 são menores do que a potência necessária no cenário de referência ajustadas às necessidades de O₂ para as condições preconizadas. A redução das potências em cada cenário ajustada às necessidades O₂ reais possibilita a redução de energia gasta.

Quadro 4.23 – Potências necessárias referentes aos diversos cenários

Cenário	Época Cenário	Potência elétrica (kW)
Cenário 1	Verão	59,41
	Inverno	50,02
Cenário 2	Verão	52,34
	Inverno	36,53
Cenário 3	Verão	45,19
	Inverno	33,99
Cenário 4	Verão	36,62
	Inverno	25,91
Cenário 5	Verão	50,65
	Inverno	37,34
Cenário 6	Verão	50,58
	Inverno	36,98
Cenário 7	Verão	54,18
	Inverno	37,71

O Quadro 4.24 a partir das condições de funcionamento preconizadas (24 horas e 180 dias por época sazonal) apresenta a energia consumida por ano em cada cenário, com o número de sobrepressores da ETAR definida (no projeto), afeta à redução de potência devido à otimização do sistema por ajuste das necessidades reais de O₂.

Quadro 4.24 – Consumos de energia referentes aos diversos cenários para um ano (Época Inverno e Verão)

Cenário	Energia (kWh/ano)
Cenário 1	472737,6
Cenário 2	383918,4
Cenário 3	342057,6
Cenário 4	270129,6
Cenário 5	380116,8
Cenário 6	378259,2
Cenário 7	396964,8

No Quadro 4.25 apresenta-se a eficiência energética pela redução da potência para cada cenário simulado em relação ao cenário de projeto durante um ano, determinado pela média das potências de cada época sazonal referente ao cenário analisado.

Quadro 4.25 – Eficiência energética (Época Inverno e Verão)

Cenário	Redução de potência gasta (%)
Cenário 2	18,78
Cenário 3	27,64
Cenário 4	42,86
Cenário 5	19,59
Cenário 6	19,98
Cenário 7	16,03

O resumo da poupança de energia anual para cada cenário em relação ao cenário 1 de referência, determinada pela diferença entre os gastos de consumo dos sobrepessores feitos pelo cenário de referência e os gastos pelos cenários simulados em análise, é apresentado no Quadro 4.26:

Quadro 4.26 – Poupança de energia anual (Época Inverno e Verão)

Cenário	E_{savings} (kWh/anual)
Cenário 2	88819,2
Cenário 3	130680
Cenário 4	202608
Cenário 5	92620,8
Cenário 6	94478,4
Cenário 7	75772,8

No Quadro 4.27 são apresentados os custos monetários relativos aos consumos dos sobrepessores por ano (época Inverno e Verão) de cada cenário e a poupança anual de cada cenário em relação ao cenário 1 de referência. Este quadro permite verificar a poupança em termos monetários da avaliação da potencial otimização objetivo do presente relatório, em relação à possível redução de potência dos sobrepessores (uma ferramenta de otimização energética do sistema de arejamento).

Quadro 4.27 – Poupança de energia anual (Considerando a soma das épocas de Inverno e Verão)

Cenário	Custos (€)	Poupança anual (€/anual)
Cenário 1	56728,51	-
Cenário 2	46070,21	10658,3
Cenário 3	41046,91	15681,6
Cenário 4	32415,55	24312,96
Cenário 5	45614,02	11114,5
Cenário 6	43391,1	11337,41
Cenário 7	47635,78	9092,736

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho pretendeu demonstrar o processo de análise a um sistema de arejamento numa ETAR, promovendo a otimização energética do mesmo. Inicialmente, o objetivo principal foi inteirar da compreensão de todo o processo de dimensionamento a partir da recolha de informação relativa à vertente em estudo.

No final do presente relatório, pode-se verificar que é possível reduzir os custos de energia de uma infraestrutura como a estudada. Para efeitos da dissertação foram estudados os custos relativamente aos consumos de energia com fornecimento de O₂ que não correspondem às necessidades reais.

As infraestruturas são dimensionadas para um ano horizonte com parâmetros sobredimensionados para precaver situações de risco futuros e também para o aumento de populações que possam acarretar maiores cargas orgânicas. O problema é que o espaço temporal entre as atuais condições e o ano horizonte é grande, o que faz a ETAR funcionar, por vezes, em regimes de alta capacidade que não correspondem à realidade.

5.1 CONCLUSÕES

Para o âmbito deste trabalho que se propunha a otimizar o sistema de arejamento de uma ETAR foi fundamental o recurso a um *software* já referido ao longo do relatório, que permitiu a simulação dos consumos de oxigénio e respetiva avaliação a nível dos efeitos em termos de consumos e custos de energia

Após a solução definida e simulada pelo *software*, que nos permitiu encontrar uma ETAR caso de estudo, usou-se a mesma para ser a referência aos cenários considerados. No desenvolvimento deste estudo foi possível simular vários cenários que podem corresponder a casos reais como diminuição do afluente, da CQO, variação Verão/Inverno como de período diurno e noturno. Essas simulações contemplavam o regime de lamas ativadas com capacidade de sedimentar e compactar, com idade de lamas entre 9 e 12 dias (dependendo do cenário).

Essas simulações permitem-nos concluir que para o dimensionamento feito (número de difusores, malha e tubagens de alimentação), a ETAR estava a funcionar com níveis de OD acima do necessário em diversos

períodos de estudo e que o perfil de OD pode ser ajustado ao longo do tempo. Ao longo do estudo dos cenários foram detalhadas conclusões acerca dos mesmos para os parâmetros avaliados. Relativamente a todos os cenários (de referência e simulados) é possível verificar uma semelhança entre todos, que é a variação significativa dos níveis de CQO no período diurno (níveis mais elevados) e noturno (níveis mais reduzidos).

No cenário em que se contemplou a desnitrificação e o aumento da idade de lamas (permitido pelo aumento de número de reatores) que permite a compactação e sedimentação mais prolongada dos ST, foi possível ver a redução dos consumos de oxigénio na ordem de 11% em ambas as épocas sazonais. Dado o número de difusores existentes na ETAR (definidos em projeto), a opção a tomar é reduzir a potência dos sobrepessores de forma a corresponder às necessidades reais de O_2 do cenário simulado e potenciar a otimização. Essa redução na ordem de 18% da potência dos sobrepessores permite a poupança de 75772,8 kWh/ano e 9092,736 €/ano em termos de consumos de energia e custos, respetivamente.

É sugerido também neste relatório a introdução de mecanismos de controlo do arejamento: (i) leis de regulação da potência dos sobrepessores ou (ii) *On/Off*. Os mecanismos de controlo permitem atender às flutuações de carga de afluente e/ou matéria orgânica, bem como da temperatura de operação do sistema, de modo a ajustar níveis de OD no tanque de arejamento de acordo com as necessidades reais do sistema.

Relativamente ao primeiro, são definidas leis de regulação da potência dos sobrepessores atendendo ao nível de OD medido no tanque de arejamento, permite reduzir a potência dos sobrepessores em 19,6 % que se traduz numa poupança de energia de 92620,8 kWh/ano em relação ao cenário 1, de referência. Obriga à inclusão de variadores de velocidade e à definição de algoritmos de controlo complexos definidos de modo a ajustar o funcionamento dos mesmos em função das reais necessidades de O_2 .

O segundo mecanismo de controlo, *On/Off* previa o arranque de arejamento aos 1,7 mg/l no primeiro e segundo reator e 1,5 mg/l no último reator e paragem aos 2,0 mg/l respetivamente. A redução é significativa, 20 % dos consumos de energia. O problema poderá ser a nível mecânico, porque estas paragens e arranques sucessivos do sistema podem sujeitar o sobrepessor a um maior desgaste mecânico, como já referido no capítulo 2 no ponto referente a mecanismos de controlo. A introdução destes mecanismos neste cenário, permitiu avaliar o potencial de otimização de energia de 94478,4 kWh/ano que corresponde a uma poupança monetária de 11337,41 €/ano em relação ao cenário 1 de referência.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com o desenvolvimento do presente trabalho prevê-se a capacidade de fazer um estudo de avaliação de um caso real, ETAR existente, de forma a avaliar o potencial de otimização energética, ao nível do sistema de arejamento, incluindo o estudo da interferência de precipitações, da influência da população, caudais industriais relevantes, ou mesmo a variações sazonais influenciam o funcionamento devido ao aumento muito significativo da população servida em certas alturas do ano.

Além dos parâmetros já referidos poderão também ser avaliados os sobrepessores instalados e a sua interferência no sistema de arejamento, tendo em conta a avaliação do funcionamento e a possível alteração desse equipamento por outro que se adequasse às condições exigidas.

Por outro lado, poderia ser efetuada uma avaliação da influência do tipo de difusores, bem como da área de difusão na eficiência de transferência de oxigénio e respetivo impacto nos consumos de energia.

Por fim, como referido, no capítulo 2 e 4, os mecanismos de ajuste do arejamento permitem a paragem dos sobrepessores ao longo do dia (na presente ETAR foi admitido o funcionamento durante as 24 horas). Um desenvolvimento poderia passar por estudar essa possibilidade de fazer períodos de paragem de arejamentos com intervalos mínimos e máximos de funcionamento do conjunto difusor-sobrepessor, e períodos de refrigeração do motor e sobrepessores para evitar desgaste mecânico, bem como desenvolver um possível algoritmo (instruções) que permita a mudança de procedimentos aquando da deteção de distúrbios externos e internos como referidos no ponto 2.12 do presente relatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquatec Eco – Systems – Difusores de burbuja fina [imagem]. [Consult. Novembro 2016]. Disponível na WWW:URL: <http://www.aquatec-ecosys.com/web/guest/difusoresburbuja>

ASIM Program Tutorial: Dynamic Simulation software for biological wastewater treatment modeling. Berne: HOLINGER AG, 2006.

B&F Dias – Difusores [imagem]. [Consult. 2016]. Disponível na WWW:URL: <http://bfdias.com.br/site/produtos/difusores/>

CARVALHO, Júlio Mendes – Recuperação de Ácido Lático por Filtração Tangencial. Lisboa, 2008. Tese de mestrado.

CHEN, W. F; LIEW, J.Y. Richard - **The Civil Engineering Handbook**. 2ª Edição. USA: CRC Press LLC, 2002. ISBN 0-8493-0958-1

DECRETO-LEI n° 152/97. 9. D.R. I Série 139 (97-06-19) 2959-2966

DECRETO-LEI n° 236/98. 9. D.R. I Série 176 (98-08-01) 3676-3722

Difusor.com - Difusor de burbuja gruesa Relia-Bill™ [imagem]. [Consult. Novembro 2016]. Disponível na WWW:URL:<http://www.difusor.co/difusor-de-burbuja-gruesa.html>

EPA - **Design Manual, Fine Pore Aeration Systems**. USA: U.S. Environmental Protection Agency, 1989. EPA/625/1-89/023.

Frigostrella – Bomba centrífuga [imagem]. [Consult. Novembro 2016]. Disponível na WWW:URL: <http://frigostrella.com.br/produtos/bomba-centrifuga-de-amonia-freon/>

GRUPOVOLUND - ETAR de purificação de águas residuais [imagem]. [Consult. Agosto 2016]. Disponível na WWW:URL: <http://grupovolund.com/pt/edar-depuracion-aguas/>

LARSSON, Viktor - Energy savings with a new aeration and control system in a mid-size Swedish wastewater treatment plant. Suécia, 2011. Tese de mestrado.

LINO, José Carlos - Análise de depósitos circulares em betão de grandes dimensões [imagem]. [Consult. Agosto 2016]. Disponível na WWW:URL:<http://www.newton.pt/pt/blog/201111/analise-depositos-circulares-betao-grandes-dimensoes.aspx>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RIEGER, L. et al. - **Water Science Technology - Progress in sensor technology**. USA: IWA Publishing, 2003. ISSN 0273-1223

Sulzer: ABS Nopon disc diffuser system PIK 300. 2012

TANDOI, Valter; JENKINS, David; WANNER, JIRI – **Activated Sludge Separation Problems: Theory, Control Measures, Practical Experience**. 1ª Edição. Londres: IWA Publishing, 2006. ISBN 1 900222841

METCALF & EDDY INC – **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse** 4ª Edição. USA: 2003. EISBN 0-07-112250-5

WATER ENVIRONMENT FEDERATION – **Energy Conservation in water and wastewater treatment facilities no. 32**. Virginia, USA: 2009. ISBN-10: 0071667946

ANEXO I – TABELAS - CONDIÇÕES INICIAIS DOS DIVERSOS CENÁRIOS

No presente anexo serão apresentados as condições iniciais para o cenário 1 na época de Inverno. Para os restantes cenários serão apresentados apenas as tabelas onde os dados são alterados das condições do cenário 1. Dentro do cenário 1, a época de verão altera o seu valor na temperatura de operação: 20°C e as condições iniciais.

Cenário 1 – Inverno

Quadro 5.1 – Definição da planta

Número de reatores (n)	Número de decantadores secundários (n)	Taxa de fluxo do afluente 1 (m³/d)	Taxa de fluxo afluente 2 (m³/d)	Taxa de fluxo de lamas recicladas (m³/d)
3	1	4000	-	4000
Taxa de fluxo de recirculação (m³/d)	Idade de lamas (d)	Concentração de saturação de oxigénio (mg/l)	Temperatura de operação (°C)	
-	9	10	10	

Quadro 5.2 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O₂ e valor KLa no(s) reator(es)

Reatores	Volume (m³)	O ₂ <i>setpoint</i> (mg/l)	Valor K _L a (mg/l)
Reator 1	500,000	2,00	0,00
Reator 2	500,000	2,00	0,00
Reator 3	500,000	2,00	0,00
Decantador secundário	2000,000	-	-

Quadro 5.3 – Concentrações dos diversos parâmetros (por afluente) nas diversas espécies

Afluente n.º1 (espécies dissolvidas)							
Tipo	O ₂ (mg/l)	CQO <i>inert</i> (mg/l)	CQO <i>substrate</i> (mg/l)	Azoto amoniacal N (mg/l)	Azoto total N (mg/l)	Nitratos N (mg/l)	Alcalinidade Mol (mol/l)
Valor	2,000	16,800	28,000	25,000	0	0	6,000
Afluente n.º1 (particuladas)							
Tipo	CQO <i>inert</i> (mg/l)	CQO <i>substrato</i> (mg/l)	CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	CQO <i>storage p</i> (mg/l)	CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	Massa total SST (mg/l)	
Valor	56,000	154,000	25,200	0	0	210,000	

Quadro 5.4 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	2.000	2.000	2.000	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.800	16.800	16.800	16.800
CQO <i>substrato</i> (mg/l)	0.995	0.516	0.372	0.372
Azoto amoniacal N (mg/l)	6.702	2.138	0.466	0.467
Azoto total N (mg/l)	2.067	2.537	2.947	2.946
Nitratos N (mg/l)	17.842	22.111	23.627	23.633
Alcalinidade Mol (mol/l)	3.419	2.789	2.561	2.561
Espécies particuladas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1709.605	1712.218	1714.857	
CQO <i>substrato</i> (mg/l)	93.206	68.544	50.242	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	1423.464	1429.514	1432.076	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	29.885	25.872	20.923	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	96.755	97.508	97.594	
Massa total SST (mg/l)	3450.654	3437.824	3425.490	

Quadro 5.5 – Definição do ciclo de estudo

Duração do ciclo (hrs)	Número de pontos do ciclo em estudo (n)
24,00	12

Quadro 5.6 – Variação do(s) afluente(s) ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	Afluente n.1	Lamas recicladas	Recirculação	Lamas em excesso
0 - 2	0.635	1.000	1.000	1.000
2 - 4	0.571	1.000	1.000	1.000
4 - 6	0.698	1.000	1.000	1.000
6 - 8	0.762	1.000	1.000	1.000
8 - 10	1.016	1.000	1.000	1.000
10 - 12	1.270	1.000	1.000	1.000
12 - 14	1.524	1.000	1.000	1.000
14 - 16	1.206	1.000	1.000	1.000
16 - 18	1.143	1.000	1.000	1.000
18 - 20	1.524	1.000	1.000	1.000
20 - 22	0.890	1.000	1.000	1.000
22 - 24	0.759	1.000	1.000	1.000
	Afluente n.º1	Lamas recicladas	Recirculação	Lama em excesso
Fator	1.000	1.000	-	1.000
Average=A	1.000	1.000	-	1.000
A·Fator	1.000	1.000	-	1.000

Quadro 5.7 – Variação das espécies dissolvidas ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	O ₂	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	Azoto amoniacal N	Azoto total N	Nitratos N	Alcalinidade Mol
0 - 2	1.000	0.263	0.263	0.828	1.000	1.000	1.000
2 - 4	1.000	0.206	0.206	0.621	1.000	1.000	1.000
4 - 6	1.000	0.519	0.519	0.414	1.000	1.000	1.000
6 - 8	1.000	0.888	0.888	0.928	1.000	1.000	1.000
8 - 10	1.000	1.233	1.233	1.870	1.000	1.000	1.000
10 - 12	1.000	1.696	1.696	1.242	1.000	1.000	1.000
12 - 14	1.000	1.670	1.670	1.068	1.000	1.000	1.000
14 -16	1.000	1.777	1.777	1.002	1.000	1.000	1.000
16 -18	1.000	1.458	1.458	0.928	1.000	1.000	1.000
18 - 20	1.000	1.139	1.139	1.135	1.000	1.000	1.000
20 - 22	1.000	0.757	0.757	1.035	1.000	1.000	1.000
22 - 24	1.000	0.394	0.394	0.928	1.000	1.000	1.000
	O ₂	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	Azoto amoniacal N	Azoto total N	Nitratos N	Alcalinidade Mol
Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Load	1.000	1.149	1.149	1.051	1.000	1.000	1.000

Quadro 5.8 – Variação das espécies particuladas ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	CQO <i>heterotro</i>	CQO <i>Storage P</i>	CQO <i>nitrifier</i>	Massa total SST
0 - 2	0.263	0.263	0.263	1.000	1.000	0.635
2 - 4	0.206	0.206	0.206	1.000	1.000	0.571
4 - 6	0.519	0.519	0.519	1.000	1.000	0.698
6 - 8	0.888	0.888	0.888	1.000	1.000	0.762
8 - 10	1.233	1.233	1.233	1.000	1.000	1.016
10 - 12	1.696	1.696	1.696	1.000	1.000	1.270
12 - 14	1.670	1.670	1.670	1.000	1.000	1.524
14 - 16	1.777	1.777	1.777	1.000	1.000	1.206
16 - 18	1.458	1.458	1.458	1.000	1.000	1.143
18 - 20	1.139	1.139	1.139	1.000	1.000	1.524
20 - 22	0.757	0.757	0.757	1.000	1.000	0.890
22 - 24	0.394	0.394	0.394	1.000	1.000	0.759
	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	CQO <i>heterotro</i>	CQO <i>Storage P</i>	CQO <i>nitrifier</i>	Massa total SST
Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Average=A</i>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Load</i>	1.149	1.149	1.149	1.000	1.000	1.101

Quadro 5.9 – Variação do *setpoint* de O₂ ou K_La ao longo do ciclo no(s) reator(es)

Espaço de tempo (hrs)	O ₂ setp. R1	O ₂ setp. R2	O ₂ setp. R3
0 - 2	1.000	1.000	1.000
2 - 4	1.000	1.000	1.000
4 - 6	1.000	1.000	1.000
6 - 8	1.000	1.000	1.000
8 - 10	1.000	1.000	1.000
10 - 12	1.000	1.000	1.000
12 - 14	1.000	1.000	1.000
14 - 16	1.000	1.000	1.000
16 - 18	1.000	1.000	1.000
18 - 20	1.000	1.000	1.000
20 - 22	1.000	1.000	1.000
22 - 24	1.000	1.000	1.000
	O ₂ setp. R1	O ₂ setp. R2	O ₂ setp. R3
Fator	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	1.000	1.000

Quadro 5.10 – Variação da temperatura ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	Diferença de temperatura
0 - 2	0,000
2 - 4	0,000
4 - 6	0,000
6 - 8	0,000
8 - 10	0,000
10 - 12	0,000
12 - 14	0,000
14 - 16	0,000
16 - 18	0,000
18 - 20	0,000
20 - 22	0,000
22 - 24	0,000
	Diferença de temperatura
Média	0,000

Cenário 1 – Verão

Quadro 5.11 – Definição da planta

Número de reatores (n)	Número de decantadores secundários (n)	Taxa de fluxo do afluente 1 (m³/d)	Taxa de fluxo afluente 2 (m³/d)	Taxa de fluxo de lamas recicladas (m³/d)
3	1	4000	-	4000
Taxa de fluxo de recirculação (m³/d)	Idade de lamas (d)	Concentração de saturação de oxigénio (mg/l)	Temperatura de operação (°C)	
-	9	10	20	

Quadro 5.12 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	2.000	2.000	2.000	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.800	16.800	16.800	16.800
CQO substrato (mg/l)	0.813	0.387	0.250	0.250
Azoto amoniacal N (mg/l)	3.180	0.412	0.101	0.101
Azoto total N (mg/l)	2.360	2.887	3.319	3.319
Nitratos N (mg/l)	21.861	24.548	25.057	25.058
Alcalinidade Mol (mol/l)	2.881	2.491	2.433	2.433
Espécies particuladas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1821.730	1825.182	1828.621	
CQO substrato (mg/l)	69.323	45.123	29.202	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	921.794	923.962	920.365	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	16.895	12.653	9.028	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	62.607	62.676	62.205	
Massa total SST (mg/l)	3025.626	3009.533	2994.336	

Cenário 2 – Inverno

Quadro 5.13 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	2.000	2.000	2.000	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.076	18.191	20.118	20.246
CQO substrato (mg/l)	0.591	0.451	0.391	0.456
Azoto amoniacal N (mg/l)	4.560	1.207	0.251	0.595
Azoto total N (mg/l)	2.614	3.131	3.623	3.235
Nitratos N (mg/l)	19.419	22.954	24.005	24.368
Alcalinidade Mol (mol/l)	3.114	2.582	2.413	2.427
Espécies particuladas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1724.795	1736.536	1745.574	
CQO substrato (mg/l)	67.781	60.734	53.156	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	1468.963	1480.751	1488.015	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	28.005	27.192	25.185	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	96.755	97.585	97.712	
Massa total SST (mg/l)	3475.802	3482.947	3483.265	

Quadro 5.14 - Variação da temperatura ao longo do ciclo – Apresentado no capítulo 4

Cenário 2 – Verão

Quadro 5.15 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	2.000	2.000	2.000	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.090	18.211	20.138	20.190
CQO substrato (mg/l)	0.404	0.273	0.218	0.287
Azoto amoniacal N (mg/l)	2.227	0.317	0.101	0.106
Azoto total N (mg/l)	2.924	3.501	4.048	3.749
Nitratos N (mg/l)	22.746	25.063	25.662	25.845
Alcalinidade Mol (mol/l)	2.709	2.367	2.283	2.287
Espécies particuladas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1838.524	1851.243	1861.157	
CQO substrato (mg/l)	39.417	32.082	25.653	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	962.496	970.321	972.127	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	11.204	10.052	8.702	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	61.601	61.791	61.474	
Massa total SST (mg/l)	3041.998	3045.361	3042.245	

Quadro 5.16 - Variação da temperatura ao longo do ciclo – Apresentado no capítulo 4

Cenário 3

Quadro 5.17 – Variação das espécies dissolvidas ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	O ₂	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	Azoto amoniacal N	Azoto total N	Nitratos N	Alcalinidade Mol
0 - 2	1.000	0.263	0.263	0.828	1.000	1.000	1.000
2 - 4	1.000	0.206	0.206	0.621	1.000	1.000	1.000
4 - 6	1.000	0.519	0.519	0.414	1.000	1.000	1.000
6 - 8	1.000	0.888	0.888	0.928	1.000	1.000	1.000
8 - 10	1.000	1.233	1.233	1.870	1.000	1.000	1.000
10 - 12	1.000	1.696	1.696	1.242	1.000	1.000	1.000
12 - 14	1.000	1.670	1.670	1.068	1.000	1.000	1.000
14 - 16	1.000	1.777	1.777	1.002	1.000	1.000	1.000
16 - 18	1.000	1.458	1.458	0.928	1.000	1.000	1.000
18 - 20	1.000	1.139	1.139	1.135	1.000	1.000	1.000
20 - 22	1.000	0.757	0.757	1.035	1.000	1.000	1.000
22 - 24	1.000	0.394	0.394	0.928	1.000	1.000	1.000
	O ₂	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	Azoto amoniacal N	Azoto total N	Nitratos N	Alcalinidade Mol
Fator	1.000	0.700	0.700	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	0.700	0.700	1.000	1.000	1.000	1.000
Load	1.000	0.805	0.805	1.051	1.000	1.000	1.000

Quadro 5.18 – Variação das espécies particuladas ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	CQO <i>heterotro</i>	CQO <i>Storage P</i>	CQO <i>nitrifier</i>	Massa total SST
0 - 2	0.263	0.263	0.263	1.000	1.000	0.635
2 - 4	0.206	0.206	0.206	1.000	1.000	0.571
4 - 6	0.519	0.519	0.519	1.000	1.000	0.698
6 - 8	0.888	0.888	0.888	1.000	1.000	0.762
8 - 10	1.233	1.233	1.233	1.000	1.000	1.016
10 - 12	1.696	1.696	1.696	1.000	1.000	1.270
12 - 14	1.670	1.670	1.670	1.000	1.000	1.524
14 - 16	1.777	1.777	1.777	1.000	1.000	1.206
16 - 18	1.458	1.458	1.458	1.000	1.000	1.143
18 - 20	1.139	1.139	1.139	1.000	1.000	1.524
20 - 22	0.757	0.757	0.757	1.000	1.000	0.890
22 - 24	0.394	0.394	0.394	1.000	1.000	0.759
	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	CQO <i>heterotro</i>	CQO <i>Storage P</i>	CQO <i>nitrifier</i>	Massa total SST
Fator	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A·Fator	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	1.000
Load	0.805	0.805	0.805	0.700	0.700	1.101

Cenário 4

Quadro 5.19 – Variação do(s) afluente(s) ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	Afluente n.º1	Lamas recicladas	Recirculação	Lamas em excesso
0 - 2	0.635	1.000	1.000	1.000
2 - 4	0.571	1.000	1.000	1.000
4 - 6	0.698	1.000	1.000	1.000
6 - 8	0.762	1.000	1.000	1.000
8 - 10	1.016	1.000	1.000	1.000
10 - 12	1.270	1.000	1.000	1.000
12 - 14	1.524	1.000	1.000	1.000
14 - 16	1.206	1.000	1.000	1.000
16 - 18	1.143	1.000	1.000	1.000
18 - 20	1.524	1.000	1.000	1.000
20 - 22	0.890	1.000	1.000	1.000
22 - 24	0.759	1.000	1.000	1.000
	Afluente n.º1	Lamas recicladas	Recirculação	Lama em excesso
Fator	0.600	1.000	-	1.000
Average=A	1.000	1.000	-	1.000
A·Fator	0.600	1.000	-	1.000

Quadro 5.20 – Variação das espécies dissolvidas ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	O ₂	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	Azoto amoniacal N	Azoto total N	Nitratos N	Alcalinidade Mol
0 - 2	1.000	0.263	0.263	0.828	1.000	1.000	1.000
2 - 4	1.000	0.206	0.206	0.621	1.000	1.000	1.000
4 - 6	1.000	0.519	0.519	0.414	1.000	1.000	1.000
6 - 8	1.000	0.888	0.888	0.928	1.000	1.000	1.000
8 - 10	1.000	1.233	1.233	1.870	1.000	1.000	1.000
10 - 12	1.000	1.696	1.696	1.242	1.000	1.000	1.000
12 - 14	1.000	1.670	1.670	1.068	1.000	1.000	1.000
14 - 16	1.000	1.777	1.777	1.002	1.000	1.000	1.000
16 - 18	1.000	1.458	1.458	0.928	1.000	1.000	1.000
18 - 20	1.000	1.139	1.139	1.135	1.000	1.000	1.000
20 - 22	1.000	0.757	0.757	1.035	1.000	1.000	1.000
22 - 24	1.000	0.394	0.394	0.928	1.000	1.000	1.000
	O ₂	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	Azoto amoniacal N	Azoto total N	Nitratos N	Alcalinidade Mol
Fator	1.000	1,000	1,000	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	1,000	1,000	1.000	1.000	1.000	1.000
Load	0,600	0,690	0,690	0,630	0,600	0,600	0,600

Quadro 5.21 – Variação das espécies particuladas ao longo do ciclo

Espaço de tempo (hrs)	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	CQO <i>heterotro</i>	CQO <i>Storage P</i>	CQO <i>nitrifier</i>	Massa total SST
0 - 2	0.263	0.263	0.263	1.000	1.000	0.635
2 - 4	0.206	0.206	0.206	1.000	1.000	0.571
4 - 6	0.519	0.519	0.519	1.000	1.000	0.698
6 - 8	0.888	0.888	0.888	1.000	1.000	0.762
8 - 10	1.233	1.233	1.233	1.000	1.000	1.016
10 - 12	1.696	1.696	1.696	1.000	1.000	1.270
12 - 14	1.670	1.670	1.670	1.000	1.000	1.524
14 - 16	1.777	1.777	1.777	1.000	1.000	1.206
16 - 18	1.458	1.458	1.458	1.000	1.000	1.143
18 - 20	1.139	1.139	1.139	1.000	1.000	1.524
20 - 22	0.757	0.757	0.757	1.000	1.000	0.890
22 - 24	0.394	0.394	0.394	1.000	1.000	0.759
	CQO <i>inert</i>	CQO substrato	CQO <i>heterotro</i>	CQO <i>Storage P</i>	CQO <i>nitrifier</i>	Massa total SST
Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Average=A</i>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Load</i>	0,690	0,690	0,690	0,600	0,600	0,661

Cenário 5 - Inverno

Quadro 5.22 – Controle por equações

	Reator 3	Reator 4	Reator 5
<i>Signal for control</i>	O2	O2	O2
Medido no reator	R1	R2	R3
<i>Signal value</i>	2.00	2.00	2.00
<i>Setpoint of controlled parameter</i>	150.000	150.000	150.000
<i>Slope of equation</i>	-200.000	-200.000	-200.000

Quadro 5.23 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O₂ e valor K_La no(s) reator(es)

Reatores	Volume (m ³)	O ₂ setpoint (mg/l)	Valor K _L a (mg/l)
Reator 1	500,000	0,00	109,914
Reator 2	500,000	0,00	84,662
Reator 3	500,000	0,00	55,341
Decantador secundário	2000,000	-	-

Quadro 5.24 – Condições iniciais por espécie

Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	2.246	2.375	2.492	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.120	18.245	20.172	20.309
CQO substrato (mg/l)	0.619	0.487	0.430	0.548
Azoto amoniacal N (mg/l)	4.162	0.960	0.166	1.186
Azoto total N (mg/l)	2.347	2.804	3.198	2.749
Nitratos N (mg/l)	19.544	22.886	23.787	24.319
Alcalinidade Mol (mol/l)	3.076	2.568	2.421	2.472
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1765.493	1777.591	1786.897	
CQO substrato (mg/l)	76.125	69.228	61.675	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	1489.257	1501.177	1508.428	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	33.437	32.705	30.831	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	97.542	98.338	98.437	
Massa total SST (mg/l)	3518.773	3526.356	3526.795	

Quadro 5.25 – Variação do *setpoint* de O₂ ou K_La ao longo do ciclo no(s) reator(es)

Espaço de tempo (hrs)	K _L a setp. R1	K _L a setp. R2	K _L a setp. R3
0 - 2	1.000	1.000	1.000
2 - 4	1.000	1.000	1.000
4 - 6	1.000	1.000	1.000
6 - 8	1.000	1.000	1.000
8 - 10	1.000	1.000	1.000
10 - 12	1.000	1.000	1.000
12 - 14	1.000	1.000	1.000
14 - 16	1.000	1.000	1.000
16 - 18	1.000	1.000	1.000
18 - 20	1.000	1.000	1.000
20 - 22	1.000	1.000	1.000
22 - 24	1.000	1.000	1.000
	K _L a setp. R1	K _L a setp. R2	K _L a setp. R3
Fator	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	1.000	1.000

Cenário 5 – VerãoQuadro 5.26 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e *setpoint* de O₂ e valor K_La no(s) reator(es)

Reatores	Volume (m ³)	O ₂ <i>setpoint</i> (mg/l)	Valor K _L a (mg/l)
Reator 1	500,000	0,00	144.226
Reator 2	500,000	0,00	77.613
Reator 3	500,000	0,00	50.836
Decantador secundário	2000,000	-	-

Quadro 5.27 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	2.157	2.430	2.491	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.116	18.243	20.180	20.287
CQO substrato (mg/l)	0.405	0.286	0.235	0.389
Azoto amoniacal N (mg/l)	1.643	0.195	0.074	0.129
Azoto total N (mg/l)	2.732	3.248	3.691	3.261
Nitratos N (mg/l)	22.552	24.285	24.688	25.804
Alcalinidade Mol (mol/l)	2.682	2.414	2.351	2.290
Espécies particuladas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1833.770	1846.459	1856.349	
CQO substrato (mg/l)	43.356	36.137	29.865	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	982.068	989.949	991.570	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	12.390	11.301	10.277	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	63.137	63.229	62.903	
Massa total SST (mg/l)	3060.004	3063.432	3060.404	

Cenário 6 – Inverno

Quadro 5.28 – Controlo por On/Off

	Reator 1	Reator 2	Reator 3
<i>Signal for control</i>	O ₂	O ₂	O ₂
Medido no reator	R1	R2	R3
<i>If signa is higher than</i>	2.00	2.00	2.00
<i>Then set value to</i>	25.000	25.000	25.000
<i>If signa is less than</i>	1.700	1.700	1.500
<i>Then set value to</i>	150.000	150.000	90.000

Quadro 5.29 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O₂ e valor K_{La} no(s) reator(es)

Reatores	Volume (m ³)	O ₂ setpoint (mg/l)	Valor K _{La} (mg/l)
Reator 1	500.000	0.000	25.000
Reator 2	500.000	0.000	25.000
Reator 3	500.000	0.000	25.000
Decantador secundário	2000,000	-	-

Quadro 5.30 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	1.837	1.760	1.583	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.111	18.234	20.157	20.300
CQO substrato (mg/l)	0.623	0.492	0.436	0.553
Azoto amoniacal N (mg/l)	4.366	1.111	0.206	1.351
Azoto total N (mg/l)	2.795	3.333	3.858	3.355
Nitratos N (mg/l)	18.901	22.217	23.090	23.539
Alcalinidade Mol (mol/l)	3.136	2.626	2.474	2.540
Espécies particuladas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1760.687	1772.753	1781.999	
CQO substrato (mg/l)	76.132	69.237	61.675	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	1494.160	1506.107	1513.475	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	33.629	32.914	30.969	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	97.904	98.717	98.850	
Massa total SST (mg/l)	3520.936	3528.561	3529.050	

Cenário 6 – VerãoQuadro 5.31 – Controlo por *On/Off*

	Reator 1	Reator 2	Reator 3
<i>Signal for control</i>	O2	O2	O2
Medido no reator	R1	R2	R3
<i>If signal is higher than</i>	2.00	2.00	2.00
<i>Then set value to</i>	25.000	25.000	25.000
<i>If signal is less than</i>	1.700	1.700	1.500
<i>Then set value to</i>	150.000	150.000	90.000

Quadro 5.32 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O₂ e valor K_La no(s) reator(es)

Reatores	Volume (m ³)	O ₂ setpoint (mg/l)	Valor K _L a (mg/l)
Reator 1	500.000	0.000	150.000
Reator 2	500.000	0.000	25.000
Reator 3	500.000	0.000	25.000
Decantador secundário	2000,000	-	-

Quadro 5.33 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	1.938	1.773	1.508	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.133	18.264	20.201	20.281
CQO substrato (mg/l)	0.399	0.283	0.234	0.383
Azoto amoniacal N (mg/l)	2.032	0.275	0.095	0.235
Azoto total N (mg/l)	3.480	4.168	4.822	4.187
Nitratos N (mg/l)	21.504	23.380	23.630	24.875
Alcalinidade Mol (mol/l)	2.785	2.484	2.428	2.365
Espécies particuladas				
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1788.075	1800.393	1809.891	1788.075
CQO substrato (mg/l)	43.340	36.124	29.844	43.340
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	1003.815	1011.912	1013.842	1003.815
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	12.257	11.135	9.986	12.257
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	57.538	57.658	57.306	57.538
Massa total SST (mg/l)	3033.636	3036.946	3033.744	3033.636

Cenário 7 - Inverno

Quadro 5.34 – Definição da planta

Número de reatores (n)	Número de decantadores secundários (n)	Taxa de fluxo do afluente 1 (m ³ /d)	Taxa de fluxo afluente 2 (m ³ /d)	Taxa de fluxo de lamas recicladas (m ³ /d)
5	1	4000	-	4000
Taxa de fluxo de recirculação (m ³ /d)	Idade de lamas (d)	Concentração de saturação de oxigénio (mg/l)	Temperatura de operação (°C)	
-	12	10	10	

Quadro 5.35 – Definição do(s) volume(s) do(s) reator(es) e decantador(es) secundário(s) e setpoint de O₂ e valor K_{La} no(s) reator(es)

Reatores	Volume (m ³)	O ₂ setpoint (mg/l)	Valor K _{La} (mg/l)
Reator 1	250,000	0,00	0,00
Reator 2	250,000	0,00	0,00
Reator 3	500,000	2,00	0,00
Reator 4	500,000	2,00	0,00
Reator 5	500,000	2,00	0,00
Decantador secundário	2000,000	-	-

Quadro 5.36 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas						
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Reator 4	Reator 5	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	0.016	1.12E-4	2.000	2.000	2.000	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800
CQO substrato (mg/l)	3.252	3.452	0.544	0.349	0.254	0.254
Azoto amoniacal N (mg/l)	13.243	13.548	6.879	2.153	0.461	0.461
Azoto total N (mg/l)	10.987	13.283	13.707	14.066	14.374	14.374
Nitratos N (mg/l)	2.695	0.401	6.635	11.076	12.714	12.715
Alcalinidade Mol (mol/l)	4.967	5.153	4.232	3.577	3.339	3.339
Espécies particuladas						
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Reator 4	Reator 5	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1703.654	1703.935	1706.334	1708.669	1710.963	
CQO substrato (mg/l)	90.719	77.034	56.606	41.466	30.305	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	1256.267	1257.537	1264.799	1268.206	1268.204	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	26.390	31.786	26.243	19.666	14.515	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	93.326	93.280	94.502	95.282	95.380	
Massa total SST (mg/l)	3287.664	3281.949	3272.738	3262.957	3253.302	

Quadro 5.37 – Variação do *setpoint* de O₂ ou K_{La} ao longo do ciclo no(s) reator(es)

Espaço de tempo (hrs)	K _{La} setp. R1	K _{La} setp. R2	O ₂ setp. R3	O ₂ setp. R4	O ₂ setp. R5
0- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2- 4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4- 6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6- 8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8-10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10-12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12-14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14-16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16-18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
18-20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20-22	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
22-24	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	K _{La} setp. R1	K _{La} setp. R2	O ₂ setp. R3	O ₂ setp. R4	O ₂ setp. R5
Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Average=A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A·Fator	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Cenário 7 – Verão

Quadro 5.38 – Condições iniciais por espécie

Espécies dissolvidas						
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Reator 4	Reator 5	Decantador secundário
O ₂ (mg/l)	0.011	4.75E-5	2.000	2.000	2.000	
CQO <i>inert</i> (mg/l)	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800	16.800
CQO substrato (mg/l)	2.965	5.601	0.459	0.240	0.155	0.155
Azoto amoniacal N (mg/l)	13.077	13.375	3.300	0.415	0.100	0.100
Azoto total N (mg/l)	12.441	14.403	14.925	15.318	15.638	15.638
Nitratos N (mg/l)	2.112	0.152	9.672	12.510	13.119	13.119
Alcalinidade Mol (mol/l)	4.997	5.158	3.759	3.350	3.284	3.284
Espécies particuladas						
Espécies/Reator	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Reator 4	Reator 5	Decantador secundário
CQO <i>inert</i> (mg/l)	1798.861	1799.043	1802.081	1805.124	1808.143	
CQO substrato (mg/l)	73.513	58.237	37.878	24.500	15.789	
CQO <i>heterotro</i> (mg/l)	804.770	805.856	813.778	812.826	806.536	
CQO <i>storage p</i> (mg/l)	17.909	23.714	15.385	8.892	5.515	
CQO <i>nitrifier</i> (mg/l)	58.134	58.092	59.833	59.937	59.493	
Massa total SST (mg/l)	2901.684	2894.786	2885.495	2873.086	2860.729	

ANEXO II – TABELAS DE CONSULTA PARA CÁLCULO DE FLUXO DE AR

As presentes tabelas foram retiradas do livro Metcalf & Eddy (2003):

Quadro 5.39 – Peso molecular, peso específico e densidade dos gases encontrados na água residual a condições *standard* (0°C, 1atm)

Gás	Fórmula	Peso molecular (M)	Peso específico (lb/ft ³)	Densidade (g/L)
Ar	-	28,97	0,0808	1,2928

Quadro 5.40 – Propriedades físicas da água (Unidade SI)

Temperatura (°C)	Peso específico γ , kN/m ³	Densidade ρ , Kg/m ³	Módulo de elasticidade $\epsilon/10^6$, kN/m ²	Viscosidade de dinâmica $\mu \times 10^3$, N.s/m ²	Viscosidade cinemática $\nu \times 10^6$, m ² /s	Tensão de superfície σ , N/m	Pressão de vapor ρ_u , kN/m ²
10	9,804	999,7	2,10	1,307	1,306	0,0742	1,23
20	9,789	998,2	2,17	1,002	1,003	0,0728	2,34

Quadro 5.41 – Concentração de oxigênio dissolvido na água em função da temperatura e salinidade

Concentração de Oxigênio Dissolvido, (mg/L)										
Salinidade, (partes por 1000)										
Temperatura (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
10	11,28	10,92	10,58	10,25	9,93	9,62	9,32	9,03	8,75	8,47
20	9,08	8,81	8,56	8,31	8,07	7,83	7,60	7,38	7,17	6,96

ANEXO III – FOLHAS DE CÁLCULO PARA CADA CENÁRIO DO FLUXO DE AR REQUERIDO

CENÁRIO 1 – VERÃO

Transferência de oxigênio atual	AOTR	87,9	kg/h
Nível de saturação de O2 <i>standard</i> (T=20 °C)	C20	9,08	mg/l
Nível de saturação de O2 operação (T=20 °C)	C20	9,08	mg/l
Gravidade	G	9,81	m/s ²
Moles de ar	M	28,97	kg/kg.mole
Elevação	T	45,0	M
Constante universal de gás	R	8314,0	N.m/kgmoleK
Pressão relativa a 45m altitude para correção de OD	pb/pa	0,99	
Concentração de oxigênio a 45 m e 20 °C	C _{sth}	9,03	mg/l
Pressão atmosférica	Patm	101,325	kN/m ²
Peso específico (T=20°C)	Y	9,789	kN/m ³
Pressão atmosférica da água a 45m altitude e T=20 °C	Patm,H	10,30	M
Pressão efetiva de profundidade	P _{ψEFFdepth}	4,25	M
Percentagem de concentração de oxigênio que deixa o tanque	O _t	19,0	%
Nível de saturação de O2 <i>standard</i> (T=20 °C H=45 m)	CSTHr	10,47	mg/l
Fator função do tipo de afluente a tratar na ETAR (urbano)	β	0,90	-
Fator de arejamento (nitrificação)	α	0,65	-
Fator Fouling	F	0,9	-
Taxa de transf. oxigênio <i>standard</i> para temp. 20 °C e 0 OD	SOTR	184,0	kg O ₂ /h
Eficiência de transferência dos difusores	E	0,26	-
Pressão (altitude=45m)	Pr	100,79	kPa
Densidade do ar (T=20 °C e pressão=100,79 kPa)	P	1,1987	kg/m ³
Peso de oxigênio (T=20 °C)	wO ₂	0,278	kgO ₂ /m ³ ar
Caudal de ar requerido	Q _{ar}	42,4	m ³ /min

ANEXO IV

Numero de difusores por linha	182,00
Numero grelhas por linha	2,00
Numero linhas de repartição por grelha	8,00
Numero de difusores por linha repartição (1 grelha)	12,00

Espaçamento entre eixos (sentido longitudinal):	d_L	m	3,67
Espaçamento entre eixos (sentido transversal):	d_T	m	0,78

Compressor				
Caudal de ar:	Q_a	m ³ /h	2546,6	
Peso específico do ar:	ρ_{TH}	kg/m ³	1,197	
Caudal mássico:	w	kg/h	3048,48	
Pressão na aspiração:	p₀	atm	0,950	
Pressão na compressão:	p_c	atm	1,489	Perdas =15%
Rendimento:			0,75	
Temperatura na aspiração:	T	°C	20	
Potência elétrica	P	kW	59,41	
Potência específica de arejamento:	Parej	kg O ₂ /kWh	1,58	